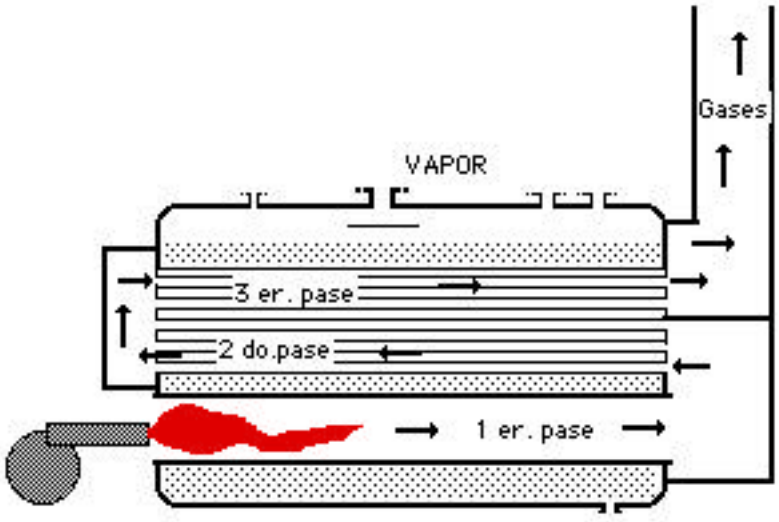
CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)



CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

<u>MODULO 6:</u>

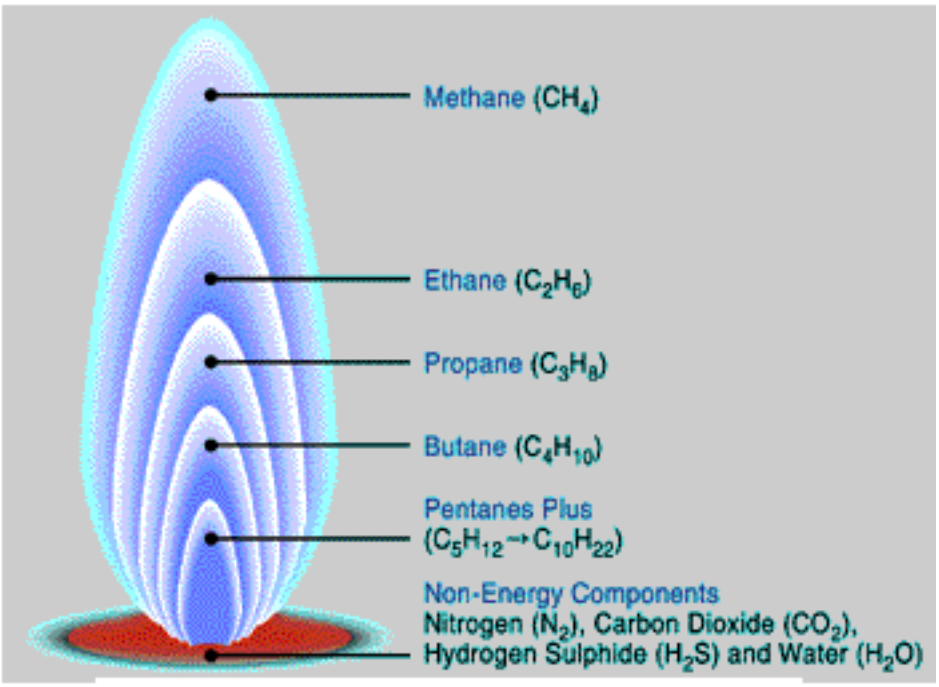
PUESTA EN MARCHA:

CALDERAS A GAS NATURAL

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

Calderas a gas :

QUEMADORES A GAS



Llama libre de Gas Natural

La información dada en este capítulo de gas natural, se debe tomar cuidadosamente y a riesgo de cada uno, ya que no responde a una norma en particular, sino que describe en forma general: información y experiencia personal, por lo que su uso no es de responsabilidad del autor, CWT.

La posibilidad de quemar gas natural ya es una realidad (En Paysandú ya se está trabajando con gas natural, desde 1999 en ANCAP y en el año 2000 en otras industrias). Ahora en la parte sur de Uruguay, desde el año 2003. El beneficio no será solamente económico, ya que ha igualdad de calorías, podría ser el gas mas barato (dependenderá de los combustibles a comparar y de la situación del mercado), sino que la combustión a gas, **si está bien instalada y ajustada**, tiene **menos problemas de mantenimiento (pero debe mantenerse una vigilancia permanente del sistema, especialmente el sistema de seguridad y los resultados de combustión)**, ya que no habrá que trabajar con combustibles líquidos y el hollín será cosa de la historia (**no tan así**, si hay falta de aire y mala mezcla, puede producirse **un hollín muy aislante y sin "humos" visibles, que será observado por un aumento de la temperatura de los gases de chimenea, al aislarse las superficies de transferencia, se notará la presencia de CO y un oscurecimiento en los gases expulsados, pudiendo este hollín ser expulsado por la chimenea y ser notado por el depósito sobre techos y patios**).

Supuestamente habrá menos contaminación al producir menos cantidad de CO2 (anhídrido carbónico, uno de los gases que provocan el "efecto invernadero"), ya que el gas natural contiene más hidrógeno (H) y menos carbono (C). aunque por ser un combustible fósil, **de todas maneras será contaminante**. Los **óxidos nitrosos** (el nitrógeno del aire y del combustible, cuando se oxidan por alta temperatura forman Nox, óxidos con el nitrógeno) se producirán en menor cuantía en la combustión y el **azufre será supuestamente casi eliminado en los suministros si son adecuados**, disminuyendo la contaminación por SO2 (anhídrido sulfuroso), ambos provocan la lluvia ácida junto con el CO2, aunque su poder corrosivo del SO2 es superior, inclusive muy irritante o tóxico para los seres vivos.

Esto será así, beneficioso, si los quemadores de gas están correctamente ajustados, sin un exceso de aire en demasía (en general no más del 15% en alta al 30% en baja de exceso) **o la falta del mismo, u otros problemas de combustión relacionados al quemador o a su adaptación a la caldera** (que puedan provocar gases sin quemar)**.**

PERO CUIDADO !!!! habrá más posibilidades de accidentes en la parte del combustible, si no se hacen las cosas bien.

Por ejemplo : **una pérdida de gas al ambiente de la sala de caldera**, podrá entrar en ignición violenta solamente quizás al prender la luz (las salas de calderas deberán ser muy bien ventiladas) **o la falta de barrido de un quemador podrá producir una explosión de hogar** (u otras fallas). **La presencia de CO por mala combustión** (ya que el ajuste de la combustión no se puede hacer a "ojo", podrá haber falta de aire o falta de mezcla aire con el gas o llama fría que como resultado producirán combustión incompleta) podrá ser un problema, ya que **el CO es un gas incoloro e inodoro**, que es **venoso por acumulación o por exceso en un ambiente**. Solo nos damos cuenta por los síntomas que presenta : dolores de cabeza, vómitos, mareos, etc. que generalmente desaparecen al salir del ambiente contaminado (una sala de caldera o cualquier local que se contamine). Hay detectores electrónicos con alarmas para la detección del monóxido. **Pero el CO** (**monóxido de carbono**) **llegado a un valor de concentración y tiempo de exposición, produce la muerte** (hecho que ocurre muy a menudo en los autos en los países que hace frío, que al cerrar las ventanillas de los autos y estos no estar ventilados cuando están parados en grandes concentraciones o "taponamientos de transito", mantienen el motor prendido para la calefacción, si los caños de escape pierden gas de combustión, rico en CO al estar el motor en baja, y este entra al interior del auto, produce la intoxicación de los ocupantes).

Aquí debemos dividir el problema en 4 partes : **1- la problemática de recibir adecuadamente el gas con todos los elementos de seguridad, 2-el quemador deberá tener todos los requisitos necesarios para la quema de gas natural, 3- la sala de calderas deberá ser adecuada, 4- el quemador debe ser ajustado por instrumentos, 5- el personal debe ser cuidadosamente instruido y entrenado.**

<u>1- La problemática de recibir adecuadamente el gas con todos los elementos de seguridad:</u>

La compañía suministradora del gas natural por cañería (nos referiremos a este fundamentalmente), **suministrará un gas lo más "estándar" posible dentro de las condiciones pactadas** (es decir, el gas natural varía de suministro en suministro), ya que es una composición de distintos gases en que el carbono -**C**- y el hidrógeno -**H**- se combina de diferentes maneras, formando gases cuya relación carbono a hidrógeno varía y con ello varía su capacidad de reacción con el oxígeno, las calorías que puede dar, la velocidad de combustión , etc.. La forma gaseosa predominante será el **gas metano**, cuya fórmula es **CH4**, contiene mucho hidrógeno en relación al carbono (se llama también "gas de los pantanos" por producirse en la naturaleza por la descomposición de la materia orgánica) . Además es : un gas **incoloro, inodoro, poco soluble en el agua y muy inflamable**, cuyo **peso molecular del metano es 16**, es decir que **tiene una densidad muy inferior al aire**, **el aire tiene aprox. 27 de peso molecular promedio**. **El metano supuestamente libre tiende a "subir" en la atmósfera o en una habitación irá subiendo a las partes más altas.**

El **gas natural** como no se puede licuar a presiones bajas (como el gas de garrafa formado por gases más pesados) a temperaturas ambientes (hay que bajar su temperatura a valores muy bajos para que las presiones que se licua no sean altas en los recipientes). Por esta razón se hace necesario transportarlos por cañerías a altas presiones (para aumentar su peso por volumen), el transporte se puede hacer hasta más de 70 Kg/cm2 y velocidades de 40 Klm/h, para que las cañerías no sean de gran tamaño, por las cuales se bombea con grandes compresores para gas. Una vez llegado al sitio de uso, se le bajará la presión a un valor medio aceptable para el suministro de la red local, bajándose aún más en el lugar de uso definitivo, en donde la presión será por lo general relativamente baja (centímetros de columna de agua : cm.c.a. ó metros: m.c.a. o milibares : mb que equivale a 10,2 mm.c.a., en la práctica 1 cm.c.a. o 10 mm.c.a.).

Por lo que al gas natural, luego de su extracción de los pozos, **se debe preparar para su utilización, en la cual se sacan los elementos condensables (hidrocarburos que condensan con la presión), el agua y las materias sólidas arrastradas, se baja el contenido de azufre, etc.** , dependiendo de su composición.

Por ejemplo, veamos la composición de un gas natural :

Composición típica de un gas natural (% por volumen) **:**

Metano....CH4..... 88,1 %
Etano.....C2H6..... 4,90 %
Propano...C3H8..... 2,30 %
Butano.....C4H10..... 0,70 %
Pentano....C6H12..... 0,10 %
N2+O2.....1,40 %
CO2.....2,60 %

Poder Calorífico Sup (MJ/m3) **..... 39,6 Mj/m3**
Densidad relativa (aire=1)**..... 0,643**
Indice Woobe..... 49,4

Ahora veamos la composición del gas natural en Paysandú (noviembre 1999)

		Peso molécula	%
Metano	CH4	16.041	90.984%
Etano	C2H6	30.067	4.083%
Propano	C3H8	44	1.196%
Nbutano	C4H10 N	58.118	0.330%
Isobutano	C4H10 I	58.118	0.210%
Pentano iso	C5H12 N	72.144	0.091%
Pentano n	C5H12 I	72.144	0.080%
N hexano	C6H14	86.169	0.116%
Anhíd.carbónico	CO2	44.01	1.967%
Nitrógeno	N2	28.016	0.935%

Densidad relativa (aire=1).....**0,624**
Densidad (peso por volumen)... **0,76 Kg/m3**
P.C.S. 9.402 Kcal/m3 o sea 12.292 Kcal/Kg.
P.C.I . 8.494 Kcal/m3 o sea 11.105 Kcal/Kg.
Indice Woobe.....49,8

Para que las pérdidas sean detectadas por el olor, en las terminales de distribución le inyectarán una sustancia olorosa (generalmente "mercaptanes", elementos derivados del azufre con un olor por lo general muy penetrante y desagradable) **esto hará que cuando haya alguna pérdida al ambiente se pueda detectar por el olfato** (esto es obligatorio por ley para evitar un accidente, generalmente el odorizador es aprox. de 3 mg/m3 al punto de consumo, generalmente no menos de 5 mg/m3 en el punto de inyección, según sea la norma del lugar y debe ser su "olor" notorio frente a una pérdida.

En el caso de Uruguay se aplica a la fecha, 2004, la norma Argentina NAG 100, que permite detectar en el aire una concentración de gas natural del orden del 0,2%, el control depende de la URSEA (Unidad Reguladora de Servicios Energía y Agua)**.**

También hay sensores de gas electrónicos, que deben ser instalados en los ambientes en donde se trabaja con cierto volumen de gas y qué por razones de seguridad se debe evitar la acumulación de gas para evitar el riesgo de una explosión. Generalmente estos equipos electrónicos trabajan de varias formas, pero no detectan el olor, sino las propiedades físico-químicas del gas, siendo los más antiguos los "explosímetros". Estos últimos funcionan en base a la combustión del gas que pudiera haber en el ambiente, haciéndolo en el interior de una "celda" con un elemento catalizador, detectando la energía calorífica que dicha proporción de gas pudiera dar al "quemarse" con el oxígeno del propio aire, la cantidad de calor indica su proporción. Los equipos más modernos trabajan sobre otras propiedades del gas.

Los gases "explotan" dentro de cierta proporción con el aire, basta una pequeña chispa eléctrica (como la chispa del interruptor de encendido de una luz o linterna), **una chispa mecánica** (el golpe de una herramienta de hierro sobre otro hierro o piedra), **una chispa de "estática"** (provocada por la fricción de dos elementos), **o calor** (ya que si entra en contacto con temperaturas de más de 600ºC, entra en combustión).

En Estados Unidos, en 1999, la central de generación de energía de la planta armadora más importante de autos, "explotó", matando y dejando heridos y quemados a muchísimos operarios. Esta explosión ocurrió en una caldera parada para inspección : una pequeña pérdida de gas natural llenó el hogar de una gran caldera (en una sala de varias calderas de alta presión en marcha), **este gas, mezclado con aire en el interior del hogar, por alguna razón entró en una combustión tipo explosiva** (chispa, pequeño foco, etc)**. Este desastre, al fin del siglo XX** (de alta tecnología) **habla claro del cuidado a tener con el gas natural.**

Otro caso, ocurrió en Uruguay, a fines de la década del 80, un soldador entró en una caldera de gran hogar (acuo-tubular de una caldera seccional), **mientras usaba una garrafa de gas** (supergas) **para cortar con soplete**, **aún con el soplete apagado, una pequeña pérdida empezó a llenar con gas la cámara de combustión, hasta que la mezcla con el aire hizo una mezcla explosiva, que al utilizar una amoladora para hacer un desbaste, la mezcla explotó por una chispa y le costó la vida.....**

Otro caso, ocurrió en el Uruguay a fines del año 2003, por falta de entrenamiento del personal por la firma suministradora de un quemador "dual" a F. Oíl y gas natural, se produjo una "explosión de hogar", luego de la primera marcha con F. Oíl Pesado por una corte de gas natural, solo de unas horas, al intentar volver a poner en marcha el quemador con el gas natural (las toberas de alimentación de gas estaban tapadas por resto de combustible, escorias y combustible concentrado, lo que impidió que el "anillo" de gas encendiera en el primer momento, provocando una concentración de gas en el hogar (quizás aumentada por el propio desprendimiento de gas de restos de F. Oíl), que al entrar en ignición al final del período de establecer la llama principal o antes (por el piloto **o por un foco ígneo en el hollín depositado que se "reavivó" con el barrido**), provocó una violenta explosión, que afecto gravemente a las personas que intentaban arrancar la caldera con gas).

Ejemplos de estos, lamentablemente hay muchos, con el gas debemos de ser muy cuidadosos al trabajar en un área que pueda acumularse (evitando toda pérdida, manteniendo los venteos en condiciones, haciendo un barrido con aire o preferiblemente trabajando en una corriente de aire, **evitando la acumulación de gas en lugares cerrados**). **Un problema en general es que las calderas en los edificios están en las partes bajas** (como en los sótanos), **que si se acumula por pérdidas** (o como es más liviano que el aire sube se introduce en espacios superiores), **puede provocar una explosión con "demolición" del edificio** (las calderas en general y especialmente las de gas, deben estar en zonas ventiladas, con "cerramientos" de estructuras "livianas", que cuando haya una explosión no se transforme la estructura del edificio en una "granada", o sea que la explosión se "alivie" fácilmente, lamentablemente en Uruguay sobran los "malos" ejemplos de instalaciones ideales para

provocar un gran daño.

Las mezclas cuanto más pobres, son más peligrosas (la velocidad de la llama es muy alta) y cuanto más ricas de gas, más lentas (la velocidad de la llama es menor), es decir que **hay un valor mínimo de gas para mezclarse con el aire para "explotar" y un valor máximo por el cual si estamos con la mezcla por encima de cierta proporción**, **ya no se produce la ignición.**

Límites de combustión para mezclas de aire-gas

Gas	**Baja%**	**Alta%**
Hidrógeno.....	4,0%	75,0%
Acetileno.....	2,5%	80,0%
Metano.....	5,3%	14,0%
Gas Natural.....	5,0%	14,0%
Gas de ciudad.....	5,0%	37,0%
Propano.....	2,2%	9,5%
TLP.....	8,0%	36,0%

(TLP : tempered liquid petroleum gas: un gas de petroleo aireado).

Como se ve en la tabla anterior, el metano y el gas natural tienen casi los mismos límites, debido a que el gas natural en su mayor parte esta formado por metano. **Esta tabla indica que los % bajos de pérdida en un ambiente pueden ser muy peligrosos.**

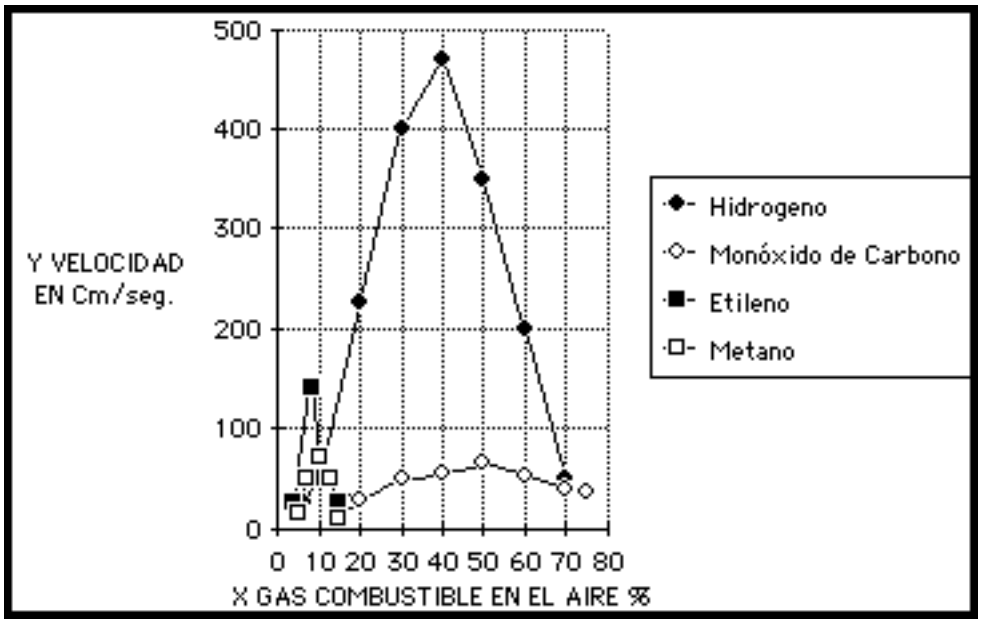
El otro factor que hace que un gas tenga su ventaja en la combustión y sus riesgos, es la temperatura de ignición .

En el caso del metano y del gas natural, de acuerdo al % de mezcla con aire, la temperatura aproximada de ignición es :

% de GAS EN AIRE	**4%**	**6%**	**8%**	**10%**	**12%**	**14%**
Para Metano, ºC	637	635	642	648	659	670
Para Gas Natural, ºC	632	612	611	612	613	617

La temperatura de + 600ºC puede ser de una chispa de estática, una llave de luz al ser accionada o una lámpara incandescente que se rompe, una simple linterna no protegida contra explosión o un simple golpe metálico (hierro, acero, fundición, pero hay herramientas especiales de base de cobre u otros metales que no producen chispas al golpear).

La velocidad de la llama es muy importante, tanto para la combustión en un quemador como en una mezcla explosiva, siendo el hidrógeno el elemento de más velocidad de combustión, como el gas natural contiene como elemento principal el metano, muy rico en hidrógeno, parecería que su velocidad de combustión fuera muy elevada, cosa que no es tan así debido a la presencia de otros elementos que contiene, pudiendo medir la velocidad de llama en Gas Natural típico en una llama de un Bunsen (mechero abierto a la atmósfera) en aprox. 300 mm por segundo (el hidrógeno es de unos 2830 mm por segundo) y la máxima velocidad de la llama del Gas Natural típico se producirá al 100% del aire teórico requerido (o aire mínimo, aproximadamente unos **9,8 m3 de aire por m3 de gas natural**, próximo a la mezcla "**pobre" de gas, o sea el 5 % en peso**). **En un tubo**, como en **el hogar** de una caldera humo-tubular, las velocidades varían, ver el gráfico inferior, en un tubo de 1" de diámetro (en el interior de los tubos humo-tubulares, de 2" a 3", la llama se apaga por enfriamiento, por eso la combustión debe terminarse antes de que los gases lleguen a penetrar los tubos humo-tubulares).



La velocidad de combustión es muy importante para el comportamiento de la llama, esta depende de muchos factores (la **mezcla**, el **% de aire, la temperatura**, la **composición**, la **forma del hogar**, la **presión**, etc.), el gráfico anterior se indican unas velocidades de llama o combustión en un tubo de 1" de diámetro, que podrá variar según comentamos. Como se ve el hidrógeno en una proporción de aire del 40% es el que tiene la mayor velocidad de combustión. El componente fundamental del gas natural es el gas metano, por lo que la velocidad de combustión se parece a éste.

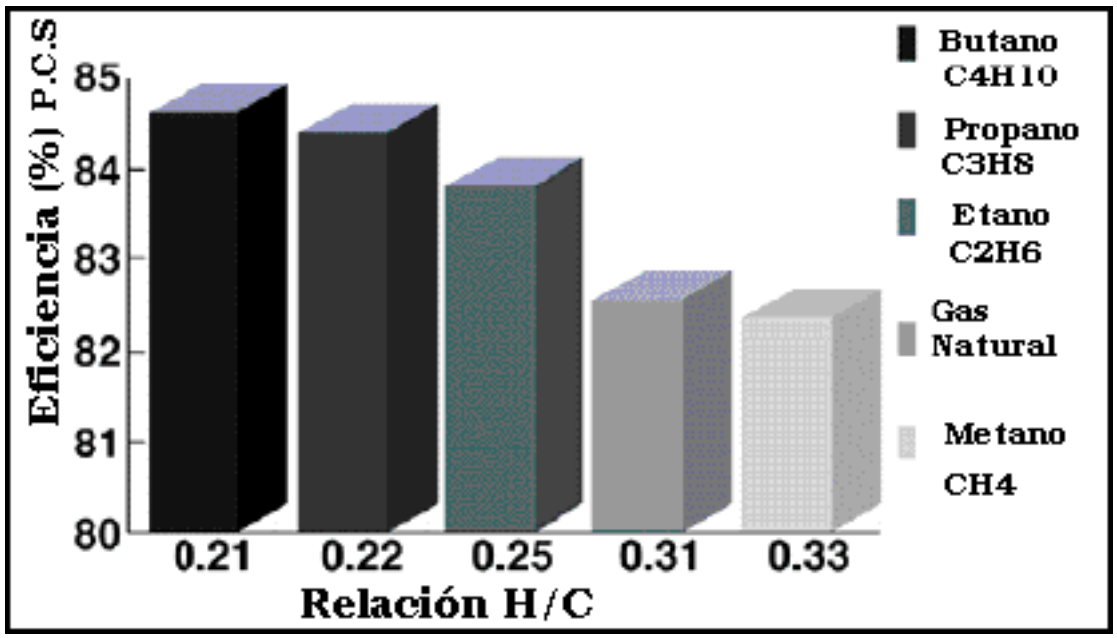
Generalmente se piensa que un gas natural (o de leña como en el gasógeno) tendrá una velocidad muy alta de combustión, esto no es así, ya que la composición de la llama varía en el tiempo de combustión, además la temperatura de la llama varía a medida que se aleja del quemador (aumenta y luego disminuye). **En los combustible líquidos como el F. Oíl** (ricos en carbono), los mismos tienen **llamas de muy alta luminosidad, que acelera la combustión**, debido al **efecto catalizador de las partículas de carbono** incandescentes en el seno de la combustión (llama luminosa, las partículas de carbono incandescentes aceleran la combustión, por radiación, efecto que a veces se intenta lograr con los aditivos de combustible), siendo **la llama de los gases, pobres en carbono** (llamas poco luminosas, no hay partículas incandescentes que aceleren la combustión), por lo cual la llama es extendida y no se ve su terminación con claridad. No confundir con la cantidad de calor, con la capacidad de la llama a transmitir el calor por radiación, ya que el carbono produce menos calor por Kg. que el hidrógeno. Esta baja velocidad en la combustión en los gases, puede ser un factor de ruidos o vibraciones, si el hogar de la caldera es insuficiente en diámetro, ya que la velocidad de combustión de la llama es alcanzada por la velocidad de la masa de gas y aire en combustión, especialmente en la zona fría o comienzo de la llama, lo que hace que se provoquen presiones inestables en el tubo del hogar, que provocan ruidos o vibraciones (como en el soplete de gas del plomero). Por lo que **obliga a provocar los mejores efectos de mezcla del aire y combustible gaseoso** (mezcla, que llamamos a veces turbulencia), de manera de aumentar la velocidad de combustión.

Las llamas cuya relación **H/C** (hidrógeno/carbono)**, es menor** (tienen menos hidrógeno)**, la llama es más luminosa, por lo tanto más corta y con alta transmisión radiante, mejoran el % de eficiencia en una misma caldera** (aunque tienen más tendencia a provocar hollín)**.** En el gráfico siguiente, se representa esto, además, influye la presencia de hidrógeno (H), dado que a más hidrógeno, aumenta la cantidad de agua formada y como el eficiencia en este caso está representada por la Eficiencia al P.C.S., la eficiencia se afecta más que la referida al P.C.I. (La eficiencia referida al P.C.S. evalúa mejor el comportamiento de los combustibles-la presencia o formación de agua- y la eficiencia referida al P.C.I. evalúa mejor el comportamiento de la caldera).

		densidad		
		Kg/m3	P.C.S. Kcal/k	P.C.I. Kcal/kg
METANO	CH4	0.6796K/m3	13,266.46	11,955.87
ETANO	C2H6	1.2860K/m3	12,400.32	11,351.41
PROPANO	C3H8	1.9156K/m3	12,034.20	11,080.29
NBUTANO	C4H10 N	2.5339K/m3	11,838.09	10,933.62
ISOBUTANO	C4H10 I	2.5339K/m3	11,809.75	10,905.28
PENTANO ISO	C5H12 N	3.0496K/m3	11,717.53	10,843.06
PENTANO N	C5H12 I	3.0496K/m3	11,695.86	10,821.39
N HEXANO	C6H14	3.6423K/m3	11,633.64	10,779.72
ANHI.CARBON	CO2	1.8740K/m3	0.00	0.00
NITROGENO	N2	1.1915K/m3	0.00	0.00

Cuanto menor es la densidad del gas (ocupa mayor volumen por kilogramo)**, mayor es su Poder Calorífico por kilogramo y menor por volumen.** La presencia de hidrógeno (H), un elemento muy liviano (peso atómico 1), al unirse con el oxígeno (forma H2O o sea agua) **produce la mayor cantidad de calor por kilogramo**, pero ocupa un gran volumen al estar en estado gaseoso (es un gas que se utilizó para "inflar" globos y "zepelines", pero muy peligroso por su "explosividad", se utiliza en los sopletes de gran temperatura, como los de corte "bajo el agua". etc).

Observe la tabla inferior en la que se comparan los distintos gases en su relación H/C respecto a la Eficiencia de Combustión y Transferencia referida al PCS (Poder Calorífico Superior), no solo debido a la cantidad de agua de combustión que forman, sino que la luminosidad de la llama que contiene más carbono transmite mejor en el hogar el calor radiante.



Es evidente que el usuario común recibirá el gas a una presión baja y ya con el indicador de "presencia por olor" incluido, pero de todas maneras para utilizar dicho gas habrá una estación de reducción final, antes del quemador (dependerá del tipo de usuario).

Dicha estación de reducción final deberá cumplir con "normas establecidas", que en general responden a que la reducción se haga de manera de que la misma responda a una salida de **presión constante**, ya que **cualquier variación en la presión podrá afectar su uso final** (como la regulación de la combustión), **así como la protección de sobre-presión o el corte del suministro**. Es evidente que si hay válvulas de "alivio" de sobre-presión o de venteo entre etapas intermedias, estos "escapes" deberán descargar en zona libres de peligro de acumulación en el interior del edificio (o en algunos casos sobre una "antorcha" con llama piloto para que se quemen las descargas sin afectar el ambiente, esto depende de la importancia de la instalación). De igual manera los quemadores deberán tener una protección que frente a una bajada de presión de gas, los mismos se apaguen y no puedan re-encender hasta que la presión de suministro se re-establezca adecuadamente (presóstato de gas). El gas deberá venir limpio de materias extrañas y con un contenido de agua muy bajo. Además las válvulas reductoras o válvulas controladoras, deberán estar protegidas con filtros y trampas de agua. También cuando las válvulas tengan diafragmas o empaquetaduras que puedan perder gas a la atmósfera, dichas pérdidas en general se "recolectan" a un sistema de "venteo seguro" que descarga en una zona libre y fuera de donde pueda provocar una acumulación por accidente o en una tobera libre, en donde se pueda quemar sin peligro (por lo que debe haber una llama piloto para comenzar la combustión frente a las pérdidas).

Los poderes caloríficos en los gases, se expresan relacionados con los volúmenes, cuando es así, **debemos considerar a que presión y temperatura se refiere,** ya que el peso por metro cúbico de los componentes variará según sea la presión y la temperatura.

Las expresiones por volúmenes de los gases tienen sentido cuando se indica la presión y la temperatura al cual el volumen está expresado.

En este caso de los gases, a veces los volúmenes se expresan como **Nm3** (normal metro cúbico), es **1 m3 de gas a 760 mm de Hg de presión absoluta (760 milímetros de mercurio) y a 0°C de temperatura**. Tomándose como una unidad práctica el **nm3** (metro cúbico técnico normal) en el que se considera al gas a una presión absoluta de 760 mm. de Hg pero a una temperatura de **19,2°C** (o 1 Kg/cm2 de presión absoluta y 10ºC de temperatura, esto simplifica algunos cálculos cuando se trabaja con el valor molar-volumen que ocupa en m3 el peso molecular en Kg del gas-, ya que se quitan los decimales a la equivalencia de Nm3 respecto al valor molar, que en el caso del Nm3 se toma como 22,414 m3 el valor de 1 mol y en el caso del nm3 se toma como 24 m3, siendo este un numero entero que facilita los cálculos).

Pero una medida muy utilizada es la que se refiere a condiciones estándar como que el gas está a 15°C (59°F en U.S.A. , en realidad 60ºF que corresponde a 15,5ºC**) y 1 atmósfera estándar** (1 atm. estándar= 760 mm mercurio= 1,033 Kg/cm2 = 1.013,25 mb o sea mili-bar = 101,325 KPa o sea kilo-Pascal ó 14,7 Lb/pulg2 ó sea libra por pulgada cuadrada).

En URUGUAY, con el Decreto 78/999 del 22/3/1999, se decretó que el m3. de gas natural deberá estar referido a una temperatura de 15°C y 101,325 Kilo-Pascal (similar a la norma Argentina). **Se debe tener en cuenta esta condición**, ya que **los m3. medidos para el cobro** del gas natural consumido, está referida **a esta condición de temperatura y presión**, **pero los medidores de gas, deberán ser corregidos, ya que los mismos estarán midiendo el gas a la presión del regulador de presión y temperatura ambiente** (temperatura, cuya variación se desestima en los consumos bajos, en los consumos altos los medidores podrán tener un corrector electrónico de presión y temperatura, que dé los m3. de gas ya corregidos a m3. estándar, a los cuales hay que agregar el factor de la relación de los poderes caloríficos, **P.C.S. real y P.C.S pactado**) **por cual también influye su poder calorífico** (que puede variar), este factor de **corrección o "factor de conversión"** se **multiplicará por los m3. diferencia indicada en el período por el medidor** . **Este "factor de conversión" que también debe considerar el Poder Calorífico del gas** (es decir, **se pacta** un **poder calorífico por m3**. estándar de gas, que por ejemplo en Paysandú es de 9.300 Kcal/m3 P.C.S. al año 2000)

Debemos estar atentos al "**factor de conversión**", ya que si el regulador de presión varía la regulación, el **factor de conversión** deberá variar (en los combustibles líquidos el control del consumo se puede comprobar por mediciones volumétricas o por peso, cosa que con el gas no es así, se deberán aplicar métodos diferentes o mantener un control indirecto del resultado del uso del gas).

Pongamos un ejemplo: el gas suministrado tiene el medidor a 800 mbars (0,8 bar) y el P.C.S. del gas es de 9.336 Kcal/m3 P.C.S., se ha pactado por 9.300 Kcal/m3 , el factor de conversión del medidor será, (calculando con **Kg/cm2**) :

Factor conversión=[(1,0333+1,020x0,800)/1,0333]x(9.336/9.300)=**1,796**

ó calculando en **Bars** = [(1,013 + 0,8)/1,013] x (9.336/9.300) = **1,796**
el factor en conversión es una relación y no está dado en ninguna unidad.

Los m3. leídos en el medidor de gas, deben **multiplicarse** por este factor para saber los m3. de gas a pagar : (**m3 medidor**) x **1,796** = **a m3. a pagar** (en factura).

La primera parte ((1,0333+1,020x0,800)/1,0333) corrige la variación de volumen por m3. a la presión del medidor a la presión estándar, la segunda (9.336/9.300) parte corrige las calorías suministradas a las calorías pactadas por m3. estándar. El producto de las dos, da el factor de conversión. No corrige la variación de **temperatura** (para hacerlo, se utilizan los medidores con conversión automática). De aquí vemos la importancia que el medidor trabaje a la presión pactada (observando el manómetro y manteniendo su calibración periódica), ya que si baja la presión sobre el medidor, **el mismo medirá más m3. que los correspondientes** (esto ocurre con la temperatura, si la misma sube por sobre la normal, medirá más m3 que lo real, en este caso, solo servirá si la compensación provocada por el promedio entre temperaturas bajas y altas, sea próximo al estándar o de lo contrario que tenga un corrector electrónico automático para corregir los m3. medidos).

Como dijimos, el **poder calorífico superior** (PCS) de un gas se puede decir por ejemplo : **9.245 Kcal/m3** (**metro cúbito estándar : 15ºC y 760 mm. Hg absolutos**), pero también se podrá expresar en **MJ** (mega-Julios, siendo 1MJ= 238,9 Kcal.).

O podría decirse que el **poder calorífico superior** (PCS) de este mismo gas es de **12.709 Kcal /Kg** (no dependiendo de la presión, pero sí de la temperatura que se supone a un determinado valor, generalmente **0ºC**).

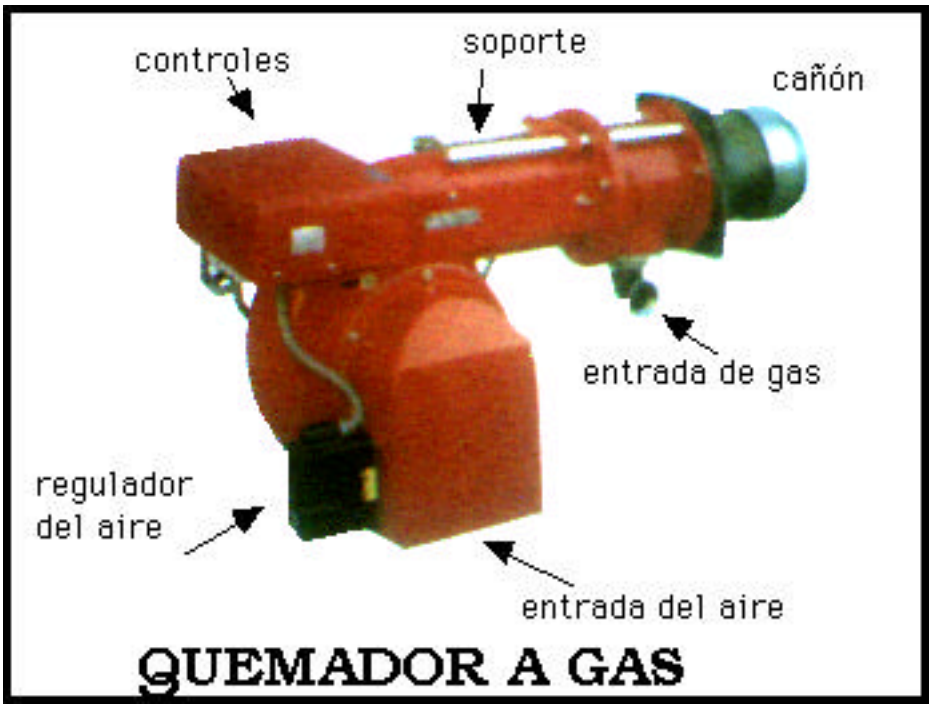
También podemos definir que para este gas (este determinado), se necesita un volumen de aire , una cantidad de aire mínima para su total combustión, diciendo por ejemplo: que 1 m3. de este gas necesita 9,8 m3. aire para su combustión total.

Pero como en los gases hay muchas variaciones de composición, se ha definido un cálculo que permite saber si un gas puede sustituir a otro en el mismo quemador y con la misma presión de gas, por medio de un índice llamado **Indice de Woobe,** cuya definición es la establecida **: entre el Poder Calorífico Superior y la raíz cuadrada de la densidad relativa** (tomando el P.C.S. en Mj/m3 y densidad relativa respecto al aire, siendo el aire =1). Por ejemplo, si el gas tiene un P.C.S. igual a 40.1 Mj/m3 y la densidad relativa es de 0,64, el indice de **Woobe** será 50,1.

A semejantes o próximos indices de **Woobe**, dichos combustibles pueden ser intercambiados en el mismo quemador sin necesidad de cambiar las toberas de inyección de gas, de lo contrario habrá que hacer cambios en el quemador cada vez que se usen diferentes gases.

Por ejemplo: Especificación general de gas natural por cañería :

Poder Calorífico Superior.....	36,51 a 41,0 MJ/m3
Indice de Wobbe	**46,02 a 50,86**
Agua.....	112 Kg/millón m3
Punto de rocío de hidrocarbones.....máx..	2,2ºC a 7 Mpa (relativos)
Oxígeno.....máx.	0,2% vol.
Total de azufre.....máx...	45,74 mg/ m3.
Sulfuro de hidrógeno.....máx...	6,0 mg/m3.
Mercaptán azufre.....máx...	4,57 mg/m3.



2- El quemador deberá tener todos los requisitos necesarios para la quema de gas natural:

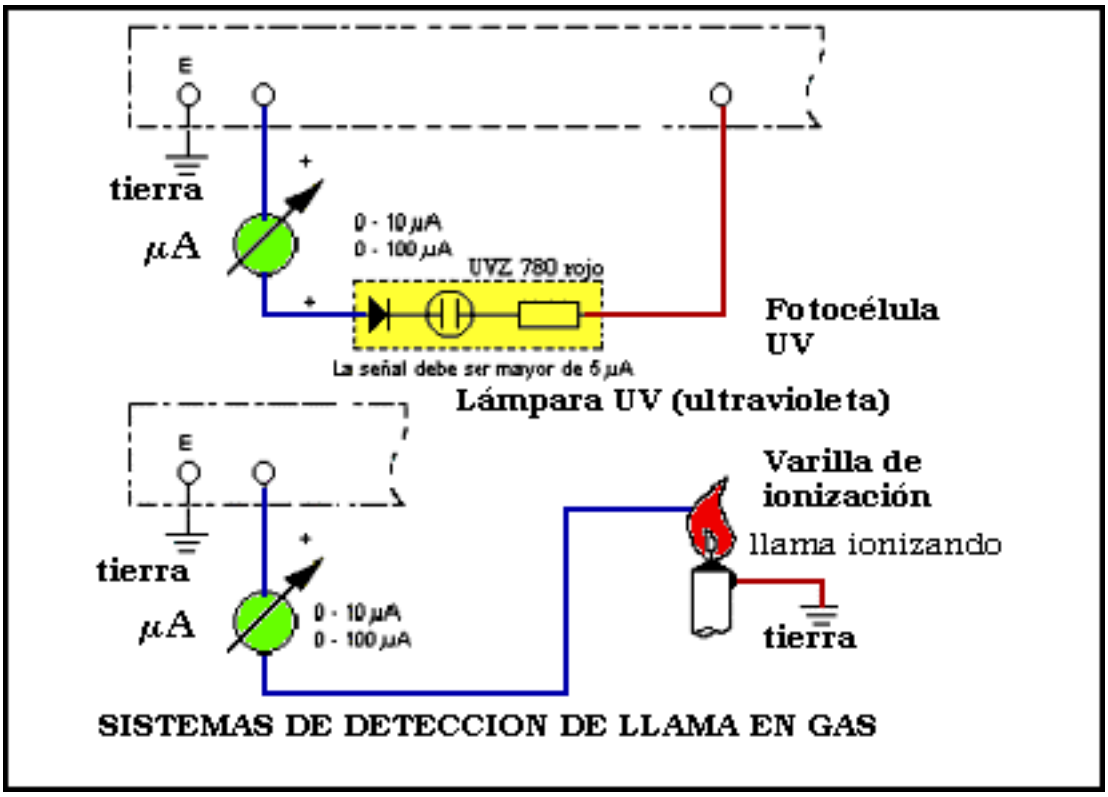
El manejo de gas natural "parece fácil", pero si queremos estar libres de un accidente debemos **exigir que el quemador responda a todas las normas de seguridad** (en Uruguay se han tomado las normas Argentinas, pero también la Europeas, ya que hay quemadores de todas partes del mundo), desde que **el programador sea adecuado para gas** (hay en general más consideración en el barrido-4 cambios de aire del volumen de la cámara de gases y combustión- que en los combustibles líquidos, si hay reencendido deberá hacer el barrido nuevamente cada vez (en calderas grandes no habrá reencedido, solamente post-barrido y el foguista deberá efectuar la "reposición" o el "reseteado" del quemador que se "bloqueará" por falla de encendido. de manera que el foguista pueda investigar la falla), en calderas "pequeñas" puede haber solo "chispero" para arranque directo de la llama principal, pero en las calderas más grandes deberá haber una llama piloto de gas que se enciende con el "chispero", pudiendo llegar tener llama piloto siempre prendida para evitar la presencia de gas sin quemar en algunos casos. Pero en los quemadores automáticos, **la llama piloto será interrumpible** o sea que **funcionará unos segundos con el chispero eléctrico para que prenda la llama piloto, luego unos segundos para establecer la llama piloto sola para que la "vea" la fotocélula de control de llama** (especial para gas), **el piloto permanecerá unos segundos para prender la llama principal** (unos 3 a 5 segundos más para que se establezca la llama principal, dependiendo de la capacidad del quemador), **que deberá cortar en 1 segundo en caso que el piloto se apague y/o la llama principal no se establezca**, en otros casos podrá haber un piloto intermitente, o sea que permanece prendido siempre que la llama principal esté prendida, cada caso será de acuerdo a la importancia del quemador y al tipo de caldera (según considere las normas y/o el fabricante de la caldera). **La "potencia" o caudal de gas natural de la llama principal al prender, deberá ser una fracción del caudal máximo** (o potencia máxima del quemador), que a medida que la caldera aumenta su capacidad, esta fracción disminuye (llegando a ser un 20% en las calderas más grandes). Solo en calderas de pequeña capacidad (menos de 100.000 Kcal/h) se podrá prender la llama principal con todo su caudal. **Pero, todas las válvulas habilitantes de "seguridad" del tren de válvulas que habilitan el gas al quemador deberán abrir lentamente** (para evitar un explosión de encendido) **y cerrar rápidamente** (en menos de 1 segundo en las calderas de mayor porte).

El control de llama puede ser una la varilla de ionización para "vigilar" la llama y/o puede haber un **detector de combustión** (llama) **más hacia la luz ultra-violeta en vez de la luz visible o el infrarrojo o ambos a la vez. Es muy importante respetar las normas establecidas por la autoridades de cada región o país.**

La varilla de ionización, se basa en el principio que la combustión del gas produce una ionización de las partículas gaseosas, que forman partículas con cargas positivas y negativas (que nos permite hacer circular una cierta corriente eléctrica entre dos elementos sometidos a un cierto voltaje, el aire libre de humedad no conduce la electricidad). Usando esta propiedad, la **varilla o electrodo** está a un voltaje respeto a "tierra" o sea la "**masa**" **metálica del quemador u otro electrodo**, si hay combustión se produce la conducción de corriente que activa un circuito para detectar llama, si no hay combustión la corriente no se establece y el circuito no la detecta.

El espectro de ondas electromagnéticas que componen la luz tienen una frecuencia (como las ondas de radio o la televisión) en las que **algunas se pueden ver, la luz luminosa que está formada por los colores básicos**, pero a **frecuencias más bajas entramos en las ondas infrarrojas** (las que detectamos por el calor que transmiten) **en el otro extremo de las ondas luminosas**, están las **ondas de luz ultravioletas** (que casi no se ven). **La combustión del gas produce más ondas del tipo ultravioletas** (casi no visibles o no visibles)**.** En los quemadores comunes, las células foto-eléctricas comunes o foto-iodos de silicio o germanio, en general **no son para el gas,** porque el gas transmite pocas ondas visibles o infrarrojas, por ello si hay una reconversión de un quemador de combustible líquido para quemar gas, este es uno de los puntos a tener en cuenta, ya que puede ser una célula exclusiva para combustible líquido, que en general detectan más ondas visibles o infrarrojas. Los **sensores UV**-ultravioletas- generalmente han sido las más utilizadas para el gas (pudiendo haber fotodiodos con filtros que se puedan utilizar o varillas de ionización). Puede ser usadas, a la vez, varillas de ionización combinados con sensores UV. El tiempo de **detectar la falta de llama es 3-5 segundos como máximo** en su respuesta (**siendo modernamente menos de 1 segundo en algunas fotocélulas**), cuando intenta "prender la llama del piloto y luego es la principal". El piloto es encendido por el "chispero", establecido antes en unos 3 segundos (no es visto por el detector de llama), debiendo prender el piloto de gas en unos 3 a 5 segundos y apagando el "chispero" para ver si se estabiliza la llama del mismo (piloto y que lo observe el "detector de llama"), provocando que se corte el gas al quemador en menos de 1 segundo si el piloto de gas no se establece y que el quemador quede bloqueado con la luz y alarma de falla activada, hasta que el operador nuevamente inspeccione y luego ponga en marcha ("reset'). O sea, que la respuesta del detector de llama es menos en general de 1 segundo y las válvulas de cierre rápido prácticamente instantánea (menos de 1 segundo), esto depende de la "potencia" de la caldera (capacidad, ver tabla más adelante). La llama principal, es prendida en un tiempo de 3 a 5 segundos, dependiendo del tipo de quemador y potencia, en la posición de mínimo llama (un 20% de la capacidad máxima en las calderas de mayor porte), si en este período la llama principal no prende, al apagarse la llama piloto de gas, el quemador se "bloquea" por falta de llama (dado que solo tiene de 3 a 5 segundos de oportunidad para prender), haciendo un post-barrido y indicando la posición de bloqueo al encender la luz de "bloqueo" y alarma sonora (con indicación de la falla en un display o el tiempo en que esta ocurrió en un dial de rotación).

Algunas fotocélulas, que trabajan en la zona de los rayos infrarrojos, corren el riesgo de detectar el calor de los refractarios, por lo que éstas pueden provocar el no corte por falta de llama, por esta razón, deben las fotocélulas ser elegidas por un técnico capacitado y de acuerdo a las normas.



Las fotocélulas del tipo UV-ultravioletas-con el circuito adecuado, pueden trabajar detectando, en el caso de algunas llamas, **una frecuencia o alternancia, que produce la combustión, de manera de que no hay forma de equivocarse al detectar la presencia de llama diferenciada de la presencia de calor de los refractarios que no producen dicha frecuencia**. A su vez, algunos de estos circuitos, tienen chequeos permanentes para saber si la fotocélula tiende a "agotarse" u otro problema que pueda provocar una falsa lectura de la presencia o ausencia de llama.

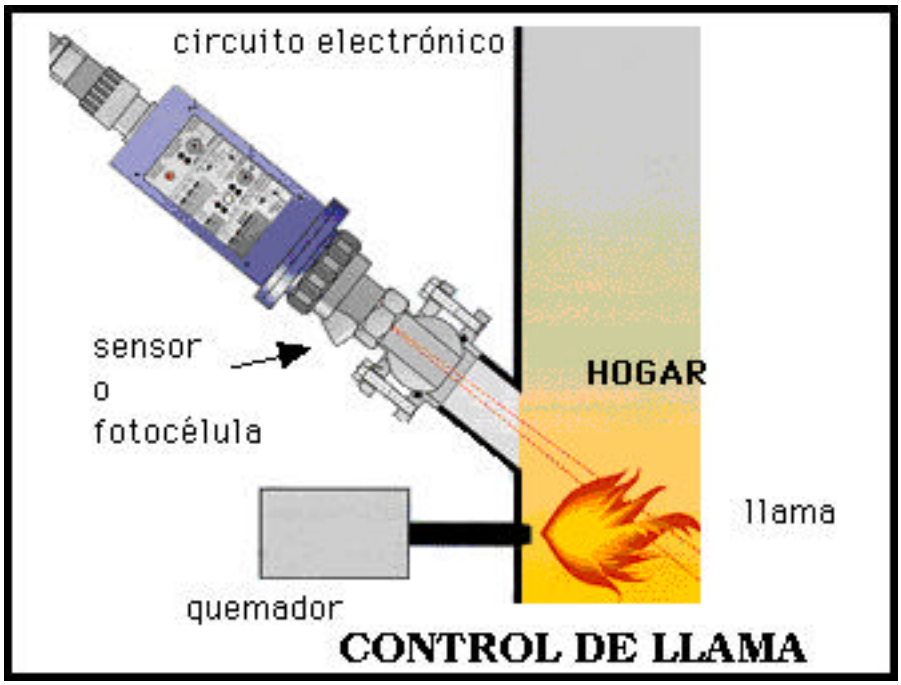
Los sensores de llama UV y las "varillas de ionización", en cierta forma trabajan bajo un mismo principio, la ionización de un gas entre dos placas o elementos conductores (el gas ionizado, significa que sus moléculas se cargan positivamente y negativamente, permitiendo que circule una pequeña corriente eléctrica al ser sometidos a un voltaje entre dichas "placas" o partes conductoras).

Las fotocélulas UV en realidad son un "tubo de vidrio", como si fuera una lámpara de luz (son como usábamos en las antiguas radios a válvulas y los llamábamos "diodos" por tener 2 electrodos), cerrado con placas, una que llamamos "cátodo" y otro "ánodo" y **en el interior del tubo en vez de aire o vacío hay un gas que se ioniza cuando es "iluminado" por la luz ultra-violeta**, esto permite que conduzca una pequeña corriente eléctrica que se usa para operar un "relay" que controla el circuito eléctrico del quemador.

Las varillas de ionización, en realidad se parece a los electrodos de del sistema de chispa del quemador, ya que un solo electrodo se le dá voltaje respecto a la "tierra" que forma el quemador por ser de metal, y el aire por si solo no se ioniza, pero al haber llama (gas en combustión) se ioniza y permite el pasaje de una pequeña corriente eléctrica que se utiliza para operar un relay que controla el circuito del quemador.

Según las normas, se podrán poner **dos sistemas de control de llama en paralelo** (en las **normas Americana**s se permite de manera que se pueda extraer una para mantenimiento sin tener que "apagar" el quemado, pero las **normas Argentinas solo permiten poner doble sistema de control o sea que cada control de llama trabaje independiente del otro, de manera que cualquiera de los dos que fallen, llevarán al "bloqueo" o sea al apagado del quemador**.

Cuando la potencia del quemador sea de cierta importancia (más de 5.000.000 Kcal/h) los sensores de llama control de llama deben ser "autoverificables" (es decir, capaces de probarse así mismos y bloquear el quemador si hay una falla en el sistema) especialmente si la caldera marcha en forma permanente.



Un quemador de cierta potencia, debe tener un **sensor de presión de aire** de suministro para combustión, de manera de asegurarse que el aire de combustión estará presente cuando el quemador se prenda o funcione (ya que si entra gas y no hay aire de "barrido" o de combustión, y se enciente el chispero, es casi seguro que habrá una explosión de hogar). No es suficiente el "enclavamiento eléctrico" del ventilador del quemador (ya que puede ser un ventilador que pueda romper el "acople" entre el motor y la "turbina" del ventilador). Cuando sean varios quemadores en la misma caldera estas deberán tener un sensor de presión y llama independiente en cada quemador.

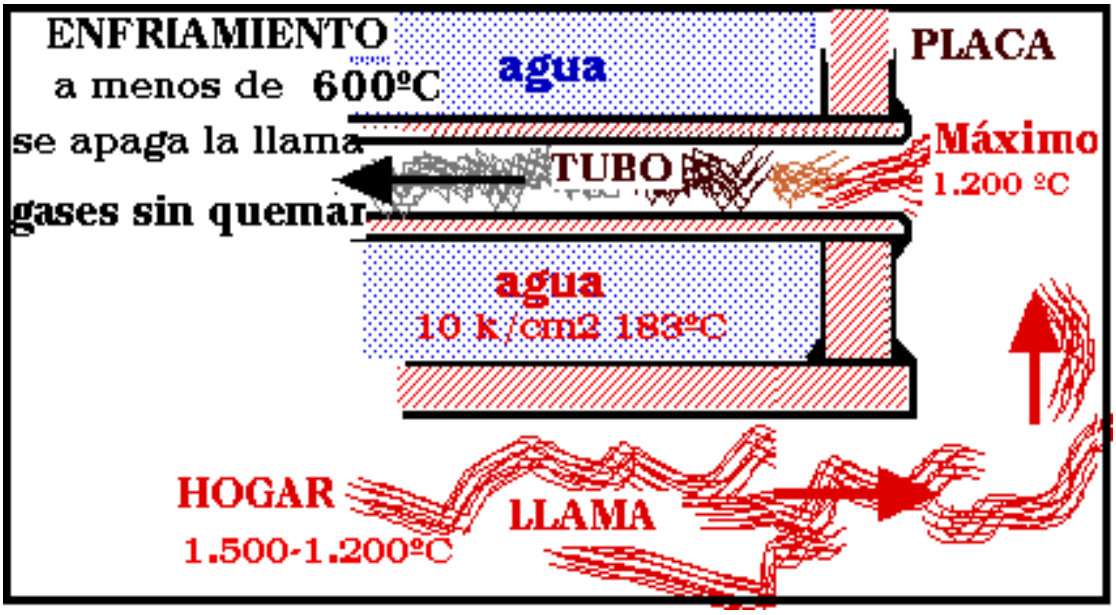
A todo estos elementos deberá sumarse el "tren" o conjunto de válvulas de seguridad (con sus elementos de prueba de "estanqueidad" o sea pérdida de gas de las válvulas) **y control, con sus presóstatos, sensores de "posición, válvulas reguladoras, etc. como describiremos más adelante.**

3- La sala de calderas deberá ser adecuada:

Es evidente que la sala de caldera **deberá tener una buena ventilación, o sea que haya permanente cambio de aire a los efectos de no acumular gas en el ambiente, ya que este podrá entrar en combustión violenta** (las mezclas pobres producen explosiones más violentas que las mezclas ricas). No olvidar que el gas natural, es una mezcla de gases, algunos livianos como el metano (CH4, en casi un 95%) otros más pesados como el etano (C2H6), el propano (C3H8), **es decir que algunas partes del gas perdido irán hacia arriba del local** (la mayoría) **y otras irán hacia abajo**. En una conversión a gas, especialmente en los edificios, las calderas de

calefacción "pecan" por una gran falta de ventilación. **Esta "ventilación" deberá permitir la extracción del aire o presuntas pérdidas de gas a la atmósfera y no a otros ambientes en que se pueda acumular**. Recordar que cuando ponemos extractores de aire, debemos preocuparnos por las entradas de aire, de los contrario no habrá una buena renovación de aire.

Los hogares de las calderas más antiguas por lo general estaban en **"depresión"** o sea que la chimenea produce **un "tiro" o "vacío o succión" en el hogar de la caldera con la caldera prendida** (de unos mm. de columna de agua, dependiendo de la chimenea, altura y diámetro, temperatura de gases y tipo de caldera). Las calderas modernas tienden a tener el **hogar presurizado cuando están en marcha** (los gases son forzados a pasar por los pases de tubos y sus "retardadores" si los utiliza) y solamente habrá depresión en el hogar cuando la caldera tenga su "fuego" apagado (y la entrada de aire al quemador cerrada). **Esto significa que en las calderas de hogar presurizados, las pérdidas de gas en combustión podrán invadir el ambiente** (es decir, que en las calderas que los quemadores "presurizan" el hogar éste podrá "escapar" al ambiente desde las tapas mal selladas del hogar o de las cajas de humo). Las que tienen en el hogar una leve depresión serán menos probables de los escapes de gases en combustión al ambiente. **No hay que olvidar que una vez que la combustión se prolonga más allá de la entrada a los tubos, la "llama" se apaga y se generarán gases sin quema**r, estos pueden ser "perdidos" al ambiente como gases sin quemar, especialmente en la caja de humos o conexión con la chimenea, o cuando las chimeneas están "tapadas" por corrosión, hollín antiguo o desperdicios o también cuando las chimeneas son mal diseñadas o mal construidas, (a veces un incendio interno de la chimenea provoca la contracción del ducto, que no se observa desde el exterior, creando una "obstrucción" parcial, que no permite el "tiro" correcto de la chimenea).



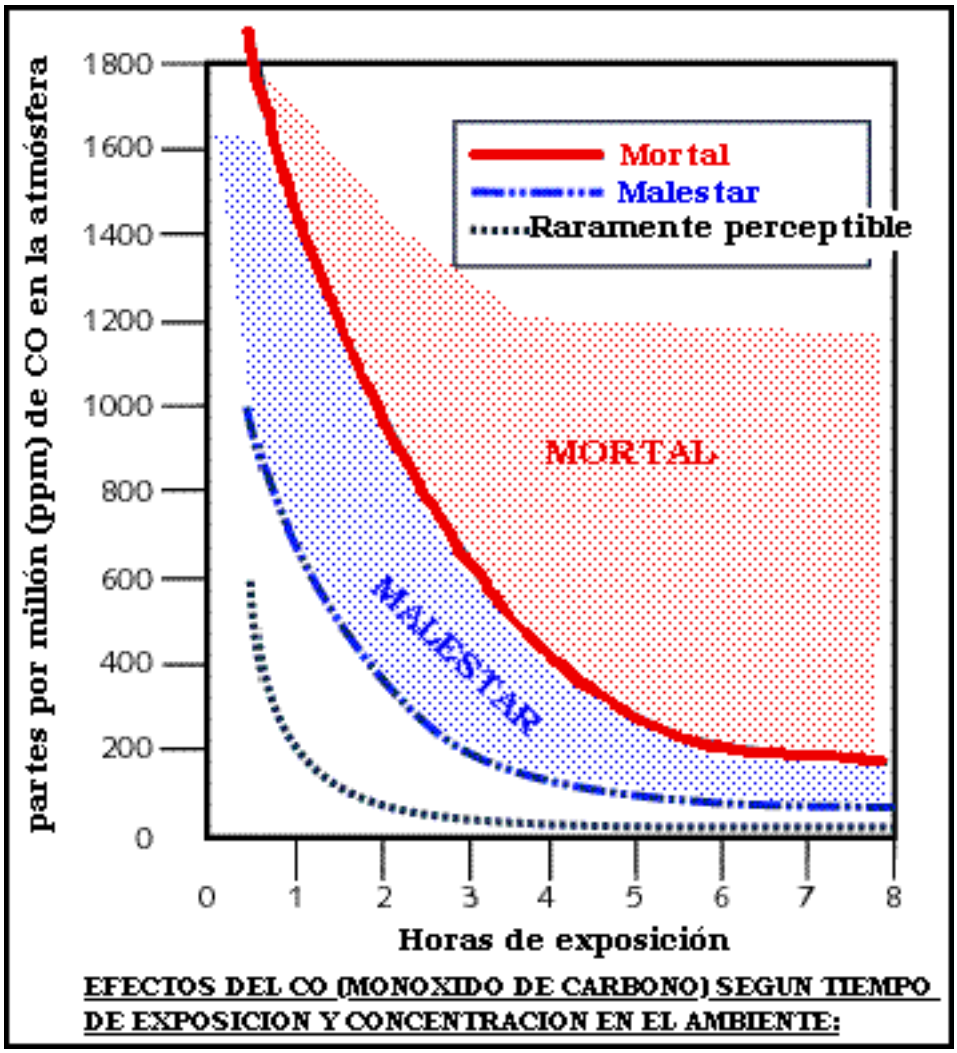
Estos gases por mala combustión, no solo pueden llegar a ser explosivos, sino que son muy tóxicos, especialmente por la presencia de monóxido de carbono -CO-. Recordar que el monóxido de carbono, **CO**, es un gas cuyo efecto en el cuerpo humano es acumulativo mientras se está expuesto al aire contaminado, es decir que la exposición por largos períodos al mismo, aumenta el riesgo a una intoxicación aún con bajos niveles de CO. Generalmente, antes de tener un efecto fatal, se producen dolores de cabeza, náuseas, y antes de esto hay algunos otros síntomas apenas perceptibles, veamos por ejemplo: **De acuerdo al Bureau of Standards** (paper 212), con **8% de CO en 1 1/2 hora de exposición, se puede producir la muerte, pero con 4% de CO en un poco más de 4 horas también se puede producir la muerte.** Pero, si la persona permanece largas horas en un recinto contaminado, con un % más bajo de CO, le puede ocurrir la muerte, pero habrá **otras complicaciones**

que afectarán su salud aunque no llegue a la muerte en ese momento, dado que puede tener períodos de aire fresco alternados con el aire contaminado por el CO.

El máximo % de CO que puede llegar a formar el gas natural es aprox. un 15%, situación en la cual debería haber una falta de aire de un 25% (para llegar a la cantidad de aire mínimo) **o una muy mala mezcla del aire y el gas. Pero tener un 1% a 2% de CO en los gases de chimenea no es nada irreal** (por eso, se deben de controlar los quemadores de gas con instrumentos en forma periódica, para controlar la presencia indeseable de CO y corregir la situación, ya que en forma visual no se puede, **porque no hay humos visibles o el color de la llama no es precisa**).

Esto lleva, que fundamentalmente por esta razón y por razones económicas (pérdida de energía), el **máximo aceptable en general de CO en chimenea de la combustión con gas natural, sea de 400 ppm** (partes por millón, equivalente aprox. 0,04% de CO) **en los gases de chimenea.**

De todas maneras, un quemador cuando es "bueno" y está "bien ajustado" , el CO debe ser prácticamente "inexistente".



La composición de los humos de chimenea, si no hay CO (monóxido de carbono) y se ha utilizado el aire mínimo (sin exceso, cosa que es teórico, en la práctica siempre se usará un exceso de aire, que se tratará que sea el mínimo posible) serán aproximadamente el % en volumen :

Composición de los gases en chimenea (Gas Natural)

Componente	**en base húmeda**	**en base seca**
CO2.....	9,90 %	12,20 %
H2O.....	18,5 %	0,00 %
N2.....	71,6 %	87,80 %

Ver la importancia del agua (H2O) formada, debido a la gran cantidad de hidrógeno (H2) del gas natural (en el momento del "arranque" con la caldera fría se produce por condensación una gran cantidad de agua, que se condensa en el hogar de la caldera, que luego se va evaporando, pero que es motivo de posibles corrosiones si esta operación ocurre día a día)..

Frente a la posibilidad de una pérdida de gas (detectada por el olor): no prender ningún tipo de elemento eléctrico, alejar a las personas del lugar, llamar al servicio de gas (o servicio de bomberos) que tienen equipo adecuado y el conocimiento (además el entrenamiento). Ver al final de este tema algunas consideraciones sobre la alimentación de gas natural a los quemadores.

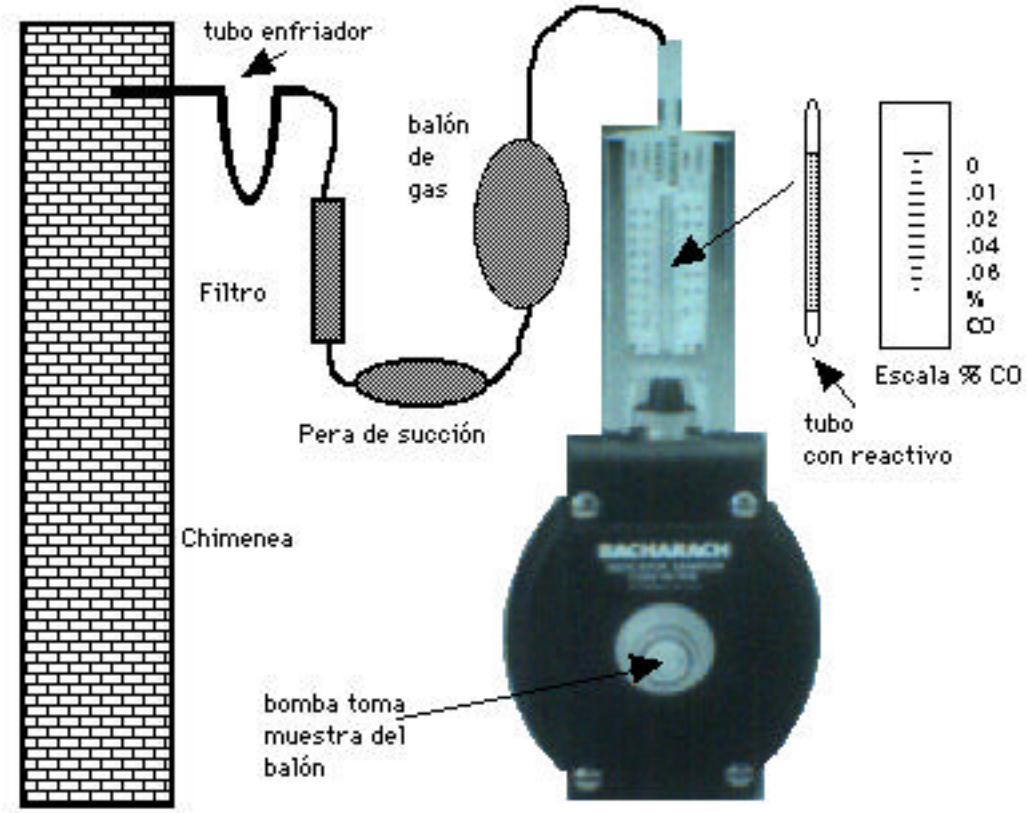
¡ Jamás intente descubrir una pérdida de gas con un encendedor, vela o fósforo, si es necesario ver una pérdida en el quemador (o sea la parte del usuario), usar agua y jabón (ver burbujas) !

4- El quemador debe ser ajustado por instrumentos.

La combustión del gas natural no es una combustión luminosa, con presencia de una llama visible, solamente se verá la parte central de la llama de un color difuso, no permitiendo ver en donde termina la combustión (el largo de llama). **No se observa bien la falta o exceso de aire por el color o forma de la llama.** En realidad se producen dos condiciones de combustión, una combustión con una luminosidad tenue y "azulada" (dado que el carbono y el hidrógeno entran en combustión casi directa con la mezcla de aire, debido a una mezcla perfecta, efecto llamado "hydroxylation" en inglés), otra más luminosa, de una coloración más clara "amarillenta", debido a la descomposición del gas al entrar en una zona de mucha temperatura, sin haber logrado la mezcla con el aire en forma perfecta, que hace que se descomponga el gas en sus componentes de hidrógeno y carbono o en otros componentes de carbono e hidrógeno (efecto llamado "cracking" en inglés), siendo las partículas carbono quien produce la luminosidad tipo "incandescencia", entrando en combustión al encontrar un oxígeno o de lo contrario formar un depósito o partícula de hollín si tocan una superficie fría (similar a los combustible líquidos). Este hollín puede notarse su formación al subir la temperatura de chimenea. **Pero puede haber una mala combustión no visible al final de la llama. Esto puede llevar a la formación de un hollín no perceptible en los humos de la chimenea** (pero cuando la acumulación es muy importante, su expulsión por la chimenea se nota en los "patios" y "techos").

Generalmente la combustión del gas no produce “humos visibles” como en la quema de combustibles líquidos, o sea: **no se observa bien la falta o exceso de aire por los humos**, **mala combustión** (productos sin quemar, desde el mismo gas hasta el monóxido de carbono, hidrógeno o elementos orgánicos, algunos como los ácidos del tipo "piroleñosos", que son corrosivos, además de contaminantes).

Esto nos lleva a que cuando queramos ajustar el exceso de aire del quemador a gas, en general, se deba de utilizar instrumentos de medida del CO2 (anhídrido carbónico) ó el O2 (oxígeno) en los gases de chimenea, siendo conveniente también medir los gases no quemados o el CO (monóxido de carbono) que deberá ser el mínimo admisible según las normas locales (generalmente menos de 400 ppm de CO o sea, 0,04% de CO) **o de lo contrario corremos el riesgo de estar en una zona de falta de aire y no poder detectarlo en forma visual.**



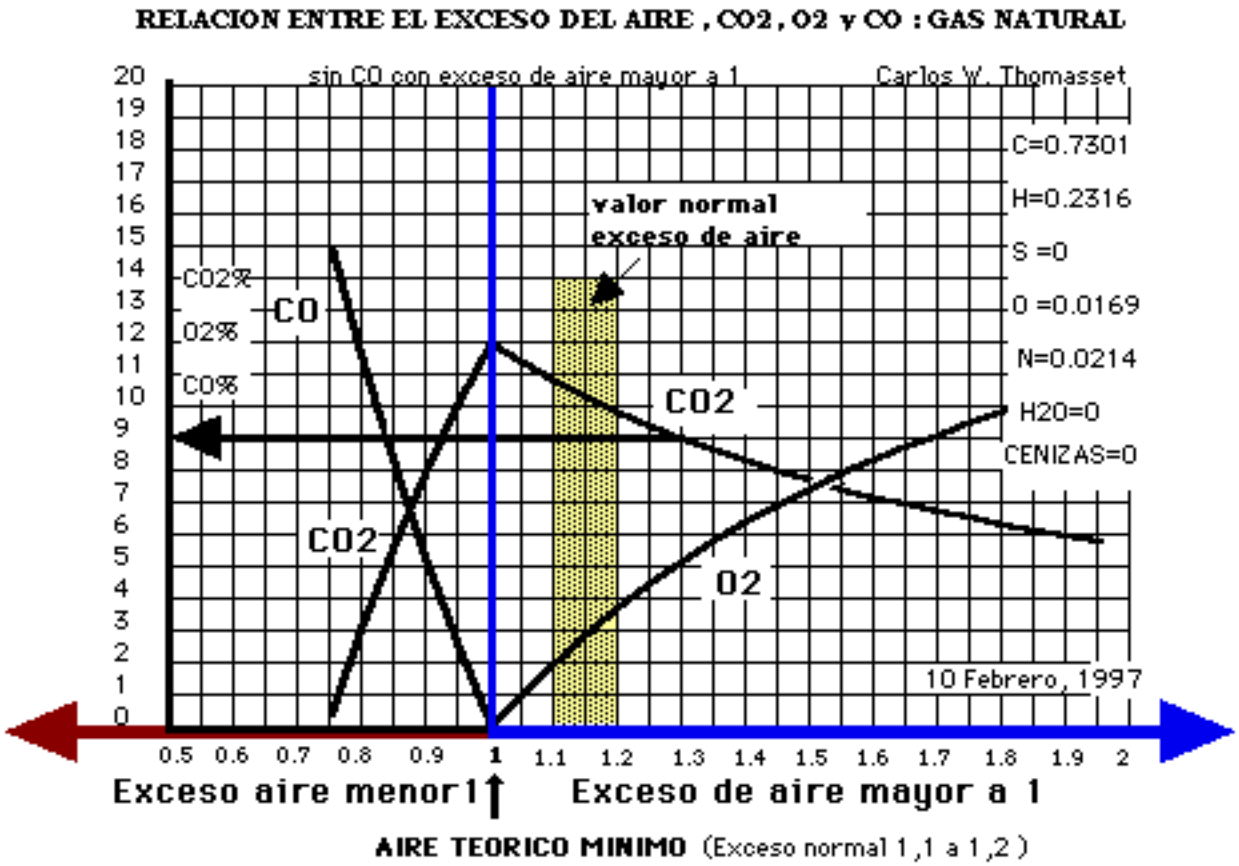
INDICADOR DE MONOXIDO (MONOXOR BACHARACH)

Como hemos dicho, la medida del monóxido de carbono (CO) en la combustión a gas es muy importante, tanto como para evitar la contaminación atmosférica como desde el punto de vista económico (ya que si hay CO, se puede considerar que hay el doble de pérdidas por otros volátiles a "medio quemar", salvo que el instrumento mida gases "sin quemar" y no solo CO). Como en la combustión de gas no tendremos humos, será importante hacer esta medición. **Para medir el CO hay varios instrumentos,** puede ser un **ORSAT** (que mide CO2, O2 y CO), puede ser **un instrumento eléctrico/electrónico** o puede ser un instrumento sencillo como el **MONOXOR® de BACHARACH™.** El **MONOXOR®** para medir el **CO,** se basa en hacer pasar una cantidad medida del gas de chimenea, que se almacena previamente en un balón de goma (que se llena con gas de chimenea a través de un enfriador y un filtro, impulsado con una pera de goma que hace de bomba). Este gas del balón, medido por una bomba calibrada en volumen, se hace pasar por un "tubito" que se encuentra lleno de una sustancia como "arenosa" de color amarillo, que al pasar **una determinada cantidad de gas succionado por una bomba del propio Monoxor®, si el gas tiene CO hace cambiar el color amarillo a un color oscuro**. Será mayor el largo del cambio de color del tubito a medida que el % de CO lo sea, en una escala estará indicando el % de CO (luego de usar una vez, si el tubito no se ha oscurecido más de la mitad, el tubito se puede invertir y usar una vez más en ese momento).

Por lo general cuando se quema gas no se debe tener un CO mayor al 0,04% de CO (4.000 ppm)**.** Ver gráfica siguiente.

Si bien los valores máximos de CO2 en los gases son menores que los de los combustibles líquidos (por mayor cantidad de hidrógeno respecto al carbono), si sólo medimos el CO2 ó el O2 , **corremos el riesgo de estar en una zona de falta de aire y que haya una cantidad de gases sin quemar no visibles por el color de la llama o el**

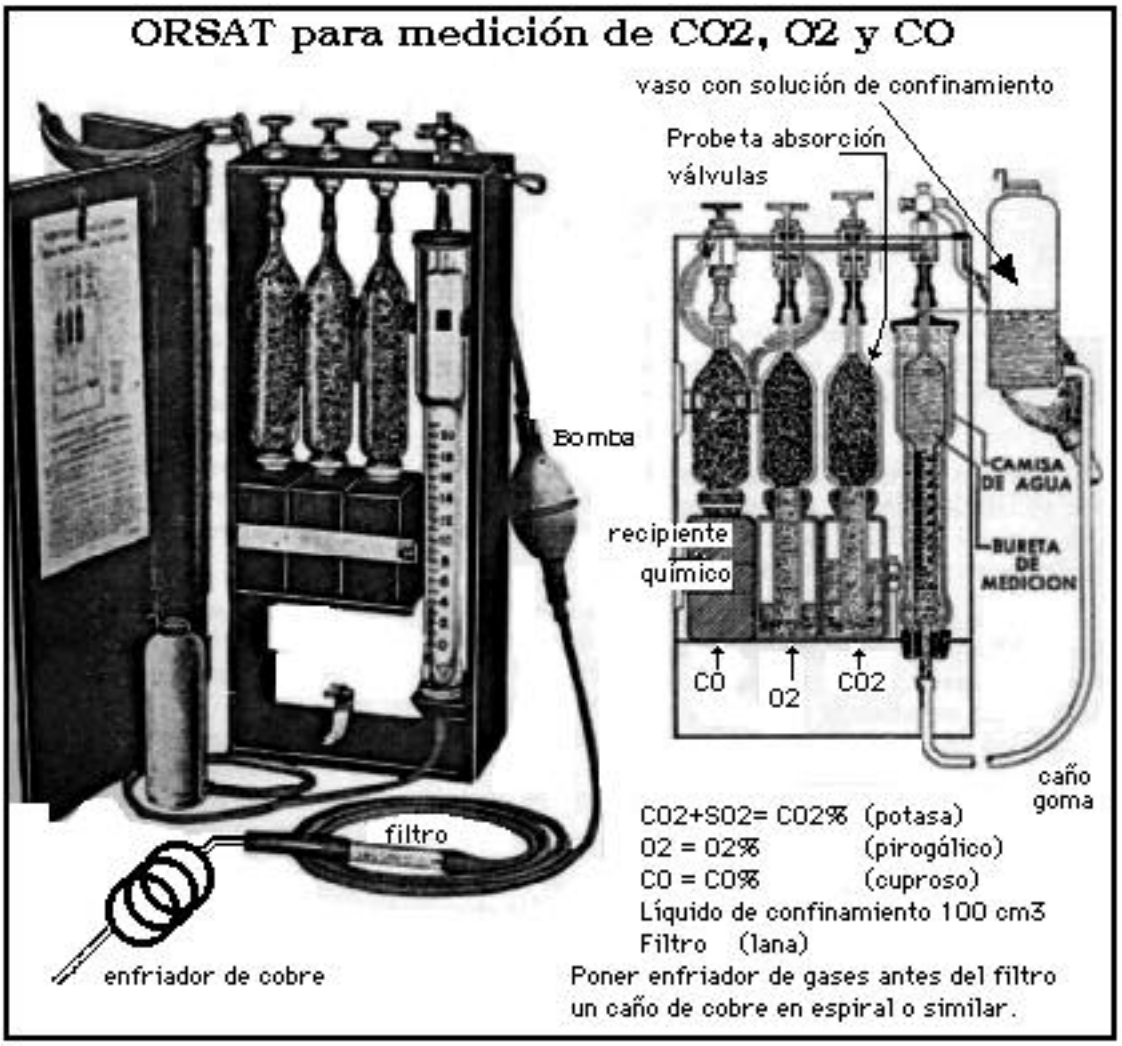
humo en chimenea. Esto no solo es contaminante, es **una pérdida económica** que puede ser muy importante, además, estos gases de chimenea pueden llegar a ser muy corrosivos.Véase este diagrama teórico de combustión :


RELACION ENTRE EL EXCESO DEL AIRE , CO2 , O2 y CO : GAS NATURAL
sin CO con exceso de aire mayor a 1
Carlos W. Thomasset
C=0.7301
H=0.2316
S =0
O =0.0169
N=0.0214
H20=0
CENIZAS=0
valor normal
exceso de aire
CO2%
O2%
CO%
CO
CO2
CO2
O2
10 Febrero, 1997
20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2
Exceso aire menor 1
Exceso de aire mayor a 1
AIRE TEORICO MINIMO (Exceso normal 1 ,1 a 1 ,2)

Es decir que **para una misma medida de CO2 podemos estar en una zona de exceso de aire o falta de aire**. De todas maneras, si también medimos el oxígeno y hay un exceso, tampoco quiere decir que este corresponde a un exceso de aire real, ya que puede haber sobrante de oxígeno por una "mala combustión" (sea por una mala mezcla del aire y el gas, o por enfriamiento excesivo de la llama o por falta de tiempo de combustión en el hogar). Esta situación no aparece en este diagrama, sí aparece en el triángulo de OSTWALD, el cual aconsejo se use para estudiar los problemas de combustión.

Para el cálculo del exceso de aire, generalmente se usa una fórmula matemática en la que se involucra el CO2, el O2 y el CO, de ésta manera, cualquiera sea la composición del combustible, el cálculo dará el exceso de aire.

Todos estos equipos de medición por medios químicos (Fyrite®, Mono, ORSAT, etc.) **en base seca**, la medida del CO2 incluye también la presencia de SO2 (anhídrido sulfuroso), que volumétricamente responde en la misma relación que el CO2 con respecto al oxígeno (para el cálculo del exceso de aire), es decir lo tomamos como CO2 cuando en realidad es una mezcla de CO2 + SO2 (la incidencia del SO2 es muy baja en la variación del % de lectura del exceso de aire al tenerlo en cuenta como CO2, dado el relativamente bajo contenido de azufre de los combustibles respecto al carbono).



EL ORSAT, es un aparato muy "antiguo", pero todavía útil para **medición de gases de combustión**, ya que si bien su medida no es de muy alta precisión, su lectura es relativamente segura si se usa en combinación con un triángulo de OSTWALD. Su funcionamiento se basa en tomar una muestra preenfriada, a través de un filtro de lana, aspirado por una bomba de goma (tipo "peluquero"), la muestra es empujada a través de una bureta de medición graduada en de 100 cm3 (que está sumergida en otro recipiente lleno de agua para mantener la temperatura de la muestra lo más estable), el gas impulsado se hace escapar a través de un vaso lleno de un líquido de "confinamiento" (líquido que no absorbe los gases y que nos permitirá subiendo o bajando el vaso, impulsar o aspirar el gas a través de los distintos líquidos de absorción). Una vez que pasó suficiente gas de chimenea por la bureta de medición (como haciendo un lavado con gases para asegurarnos su constitución original), maniobramos las válvula de entrada y escape a la atmósfera, de manera de que con el vaso enrasamos el cero (**0** equivalente a **100 cm3** de muestra, enrasando a igual nivel la superficie del líquido de confinamiento en la bureta y en el vaso, de manera de no comprimir o expandir la muestra de gas) de la bureta. Antes de hacer esta maniobra de "atrapar" 100 cm3 de gas, debemos de enrasar todos los líquidos de absorción en cada cámara de absorción (en donde están los **rellenos,** tubitos de vidrio o virutas o alambres de cobre, que se empapan del líquido de absorción para poder absorber selectivamente cada gas; esté llena hasta la marca que tiene en el cuello más fino). Luego empujaremos el gas para que entre totalmente en la primera cámara de absorción (para absorber

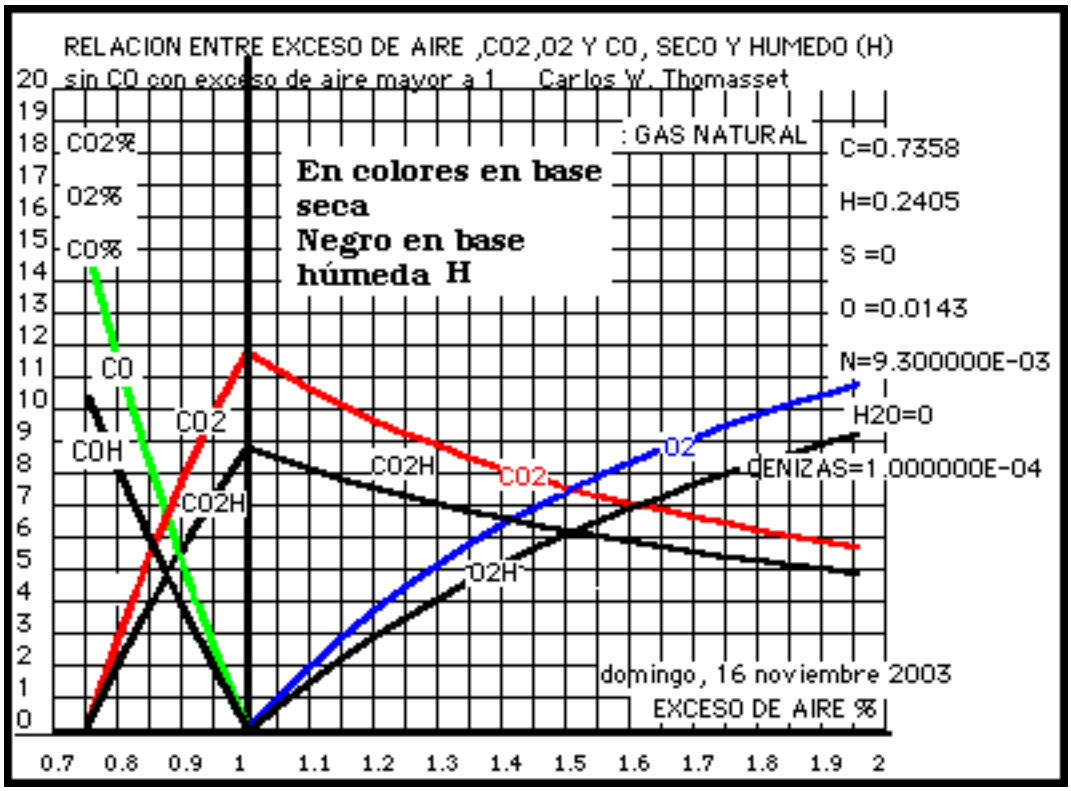
el CO2 y SO2, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso, que es absorbido por una solución fuerte de potasa), repetimos la maniobra de empujar y volver el gas a la bureta de medición tantas veces como sea necesario para que en la bureta de medición la lectura sea constante (cuidando de volver el líquido absorbente a la misma marca de enrase en su recipiente, ya que cada cámara de absorción descarga el líquido a un recipiente sellado a la atmósfera por un globo para que no entre en contacto con el aire, el líquido de absorción tiene unos 100 cm3.). **Luego, con la lectura constante, la lectura de cada 1 cm3 o 1 ml. será el % de CO2%** (para hacer esta lectura enrasar los niveles de la bureta y del vaso, cuidando el efecto de los "meniscos" del líquido de confinamiento en ambos sean iguales).

Aquí el gas restante será menor a 100 cm3 (dado que pierde el **CO2 y SO2,** podría además perder algún gas ácido, **pero se toma todo como CO2 dado la baja influencia del SO2 y gases ácidos en el %**). **La lectura será en base seca** (gases secos). Ahora **absorberemos el O2** (utilizando para ello como absorbente al ácido pirogálico, un derivado de la madera, que no debe estar en contacto con la atmósfera, porque sino pierde efectividad debido a la presencia del O2 del aire). **Una vez absorbido el O2, la medida en la bureta será el faltante del CO2+SO2+O2, por lo que el O2% será la diferencia entre esta lectura y la anterior del CO2%** (+SO2)**.** Luego absorberemos el **CO** (para ello usaremos una solución con cloruro cuproso), **la lectura de esta medida será el CO2+SO2+O2+CO, por lo que el CO% será esta lectura menos la anterior.**

Los líquidos de absorción deben ser preparados en la medida que se observen problemas de absorción (hay que repetir la maniobra muchas veces para absorber, ya la coloración y la viscosidad dan una idea de que hay una cambio en los mismos, especialmente en el pirogálico y el cuproso, teniendo en cuenta que el **cuproso es venenoso**).

Luego para una mejor utilización del ORSAT y su interpretación, conviene utilizar un diagrama de OSTWALD, ya que si bien podemos saber el exceso de aire **por medio de una fórmula en la que intervienen los 3 elementos medidos** (CO2%,O2% y CO%, ver abajo una fórmula para calcular el exceso de aire con combustión incompleta, en la que participan el CO2 , O2, CO, en relación seca) **sin necesidad de conocer la composición del combustible**, cosa que para trazar el triángulo de OSTWALD es necesario conocer su composición (no olvidar que el triángulo de OSTWALD es la relación de l**os gases de combustión en relación seca** o sea con el vapor de agua condensada).

$$\%(ex.aire)=\frac{(1-CO2-O2-CO)}{(1-CO2-1,5\,CO-((O2-0,5\,CO)/0,21))}$$



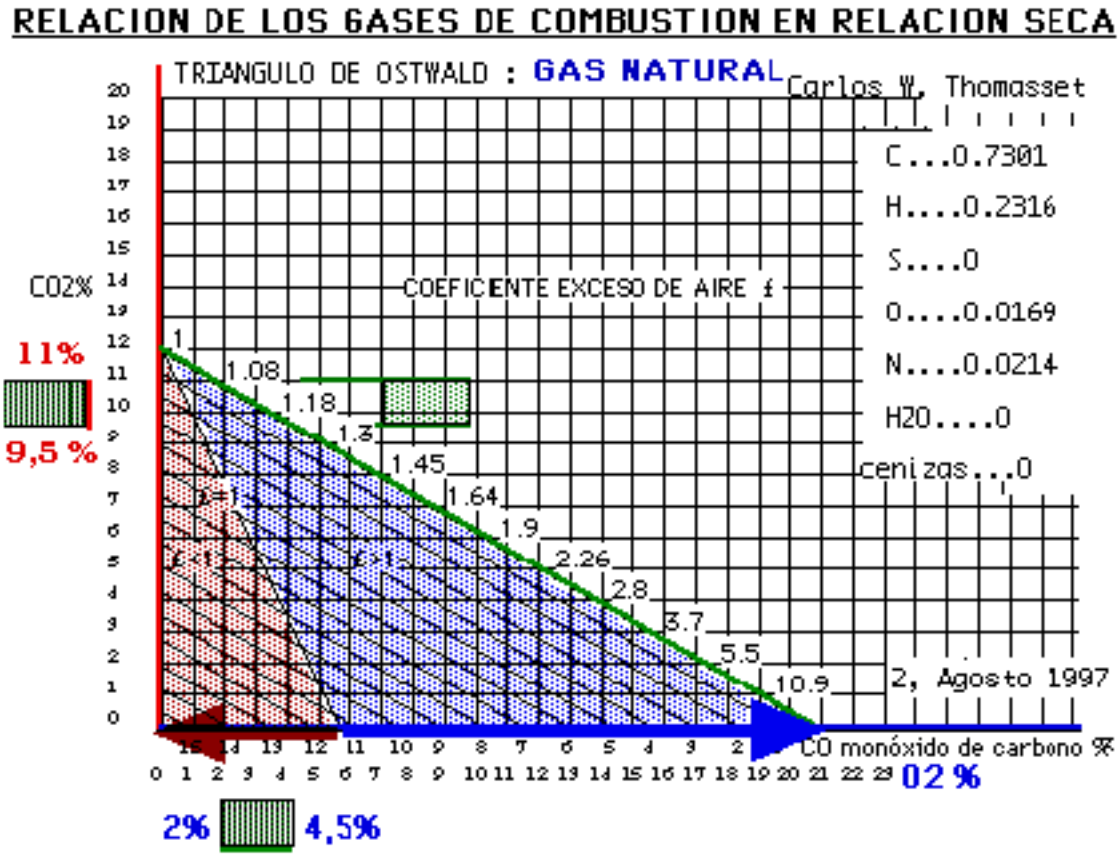
Observar en la gráfica superior, la diferencia entre la relación en % de los gases de chimenea en base "seca" y en base "húmeda" (CO2H, O2H, COH) **para el gas natural** (es decir, como se encuentra en la chimenea y no como se encuentra cuando es tomado por un instrumento que lo enfría y condensa toda o parte del agua de combustión y humedad del combustible y del aire de combustión). Los instrumentos que reflejan la medida en base "Húmeda", el más común son la celdas de óxidos de zirconio (que trabajan introducidas en el interior de la chimenea, a alta temperatura, u otros instrumentos que trabajan a altas temperaturas que no permiten que se produzca la condensación del agua. Los instrumentos que llevan los gases a la temperatura ambiente del aparato de medición y no son por "absorción", como el Fyrite®®, el ORSAT, dan la relación de gases con un % tan bajo de humedad, que su valor es prácticamente en base seca, además si quisiéramos una mayor precisión deberíamos corregir por la temperatura en las condiciones de la medición).

El triángulo de OSTWALD EN LA UTILIZACIÓN DEL GAS NATURAL

Para facilitar el trabajo de ajuste en los quemadores, se puede utilizar el triángulo de **OSTWALD**, una relación de gases en **base seca** (es decir que la humedad-agua de combustión y humedad del aire y del gas- que se encuentran en los gases de combustión, se supone condensada), es una gráfica que relaciona estos mismos valores, pero cada gráfica **se traza para un solo tipo de combustible**, ya que la misma responde a la composición específica de cada combustible. En las **verticales se trazan los valores de CO2% en volumen** (CO2 + SO2), **en la horizontal el valor % del oxígeno** (siendo el máximo de O2 para el aire del 21% en volumen), **partiendo del CO2% máximo o sea punto en que el aire utilizado es el "mínimo" o "estequiométrico", no sobra ni falta aire: que en gas natural aproximadamente es de un 12%,** (es el punto en que todo el oxígeno es consumido o sea igual a 0%) se traza una línea hasta unir con **el oxígeno máximo** (21% de O2 y 0% de CO2 o sea sin gases o exceso de aire infinito). **Sobre esta recta estarán los valores de exceso de aire con combustión completa** (con CO igual a 0%), **en las paralelas a esta hipotenusa estarán los valores crecientes de CO en %**,

siendo el máximo CO la unión entre el CO2 igual a 0% y el oxígeno igual a 0%, que en este caso será 15,5%). Este triángulo de **OSTWALD** se trazó basándose en la composición promedio de un gas natural. De acuerdo a lo dicho, cuando se ajuste un quemador que funcione a gas a gas natural, se debe medir el CO2 o el O2, además los gases sin quemar o el CO (monóxido de carbono), para ello podemos utilizar medidores independientes o un **ORSAT**. El **ORSAT** mide por **absorción química** el **CO2** (más el SO2), el **O2** y el **CO**, basados en estas 3 mediciones, podemos con un triángulo de OSTWALD, razonar lo que está pasando con el quemador, o calcular matemáticamente el exceso de aire.

El ORSAT es un instrumento muy usado desde hace muchos años y si bien no es de alta precisión, es muy útil y en un país como el nuestro su uso todavía es muy conveniente.



El trazado varía de acuerdo a la composición del gas, aunque en términos generales en una zona de suministro, se mantiene relativamente sin grandes cambios.

En este triángulo de OSTWALD para gas natural, estamos recomendando que el exceso de oxígeno (O2) entre 2% y máximo 4,5%, el anhídrido carbónico (CO2) entre 11% y 9,5%, esto equivale a un exceso de aire entre 8% y 23% aprox..

EL TRIANGULO DE OSTWALD

Este gráfico, es un sistema visual de ver el resultado de la combustión, está trazado en % de volumen de los **gases secos** y se usa de la siguiente manera:

Es un triángulo formado por el cateto vertical (ordenadas) por el **CO2% de cada combustible en particular** (cada triángulo solo es válido para cada combustible, ya que su trazado responde a la composición química del

combustible y de la atmósfera terrestre al nivel del mar, y con los **gases secos**), **en la cual el CO2% corresponde a la suma de CO2% + SO2%** (dado que ambos elementos necesitan en volumen o molarmente la misma cantidad de oxígeno y como los instrumentos de absorción absorberán a los dos, además la incidencia del SO2%, anhídrido sulfuroso es por lo general bajo), **o sea que el valor máximo será el máximo CO2% del combustible** (la suma CO2%+SO2%, cuando el aire necesario corresponde al mínimo o estequiométrico, con combustión completa). **Este CO2% máximo será mayor a medida que la relación hidrógeno/carbono disminuye** (H/C) o sea que el combustible tenga más carbono en relación al hidrógeno (podemos ordenar los combustibles de mayor contenido de hidrógeno a menor: por lo general gases naturales, combustibles líquidos livianos son los que contienen más hidrógeno y con más contenido de carbono a los combustibles líquidos pesados , como el Fuel Oíl, y por lo general los combustibles sólidos como la leña, lignitos, carbones en general).

En el cateto horizontal (abscisas), **se traza el % de O2** (oxígeno atmosférico, aprox. 21% en volumen) **hasta 21 %.**

La hipotenusa será el punto de intercepción de la combustión completa, en donde se unen los valores correspondientes a cada determinado valor de CO2% y O2%, indicándose a partir de 0% de exceso (aire mínimo o estequiométrico, expresado como **£=1**, que no sobra el O2, es 0% y el CO2% es el máximo), pasando por todos los valores hasta el infinito exceso de aire (£= ∞), **cuando el O2% es 21% o máximo, valor que solo se dá en la realidad cuando no hay combustión.**

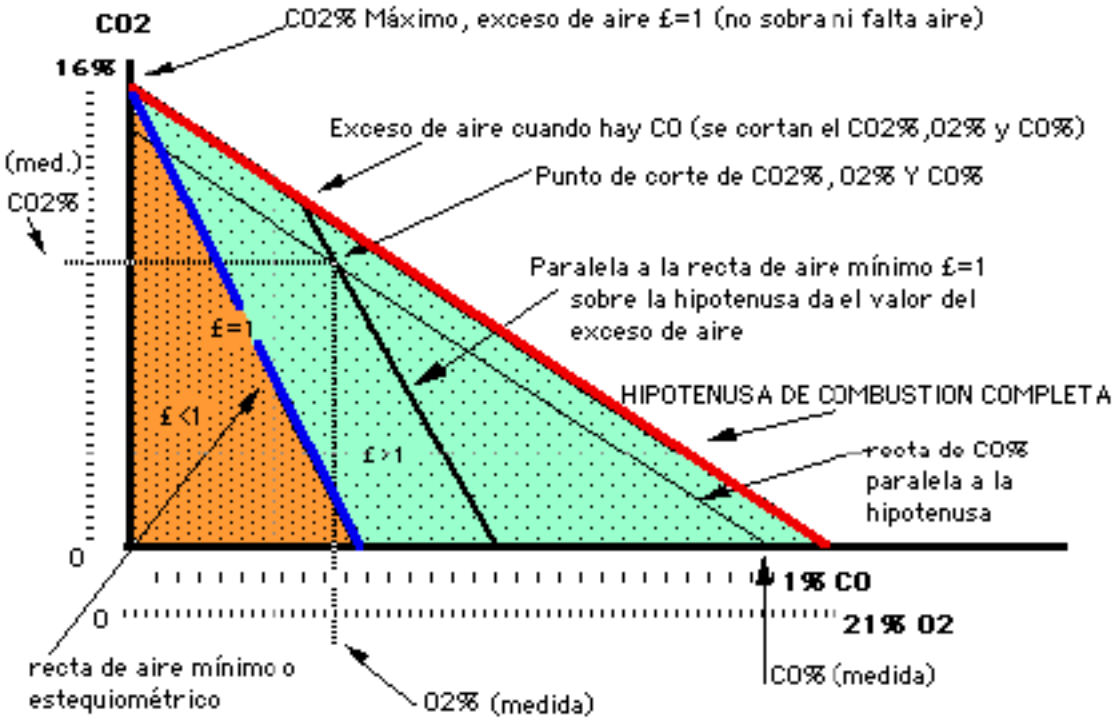
Paralelo a la hipotenusa, se trazan los valores de cada % de CO (monóxido de carbono), siendo el **máximo CO se produce cuando el CO2% es 0 y el O2% es 0.** Este valor máximo del CO es diferente para cada combustible, al igual lo que ocurre con el CO2%, siendo el valor mayor a medida que disminuye la relación hidrógeno/carbono (H/C), es decir, cuanto más carbono tenga el combustible (siendo máximo en los carbones y celulósicos, disminuyendo un poco en el F.Oíl, otro poco a medida que los combustibles líquidos tienen menos densidad, bajando aún más en los gases orgánicos, como en el gas natural, etc).

Cuando no se dá que las medidas de CO2% y el O2% coincidan en la hipotenusa (combustión completa), **el punto de intersección será sobre una zona en que habrá mala combustión o sea, que hay un % de CO.** Por lo general las lecturas no cierran en punto, sino en un triángulo (cuyos vértices serán CO2-O2 , CO2-CO y O2-CO), en este caso se tomará como punto el centro de gravedad del triángulo, o sea, la intersección de las mediatrices de los lados.

Para saber el exceso de aire (£) **correspondiente a dicho punto, debemos de trazar primero una recta que indican los puntos del exceso de aire £ = 1** (exceso de aire igual a 1, aire mínimo, o estequiométrico o sea, que no sobra ni falta aire). **Esta recta va en el punto de intersección del CO2% máximo y O2% = 0, siendo el otro punto el O2% correspondiente al CO2% = 0 cuando el aire es el mínimo** (estequiométrico). **Una vez trazada esta recta, se dividirá el triángulo en 3 zonas, a-la de la menor valor en abscisas , falta el aire** (£<1)**, b-sobre la recta, aire mínimo** (£=1), **c-sobre los valores mayores de O2% a partir de la recta** (£>1)**, será la zona de exceso de aire** (sobra el aire).

A partir de paralelas a esta recta, del lado derecho o donde sobra el aire, la intercepción de dichas paralelas con la hipotenusa, darán el exceso de aire correspondiente al punto interior al triángulo.

Como se ve, este triángulo, da todas las posibilidades de combustión (aunque se puede trazar un triángulo "corregido" a los valores de CO%, ya que se ha detectado que cuando hay CO, también hay gases combustibles como el hidrógeno sin quemar, aunque, consideramos que a fines prácticos, estos triángulos teóricos son suficientes, ya que el resultado buscado deberá ser la combustión completa).



El croquis anterior, indica los parámetros más importantes en el triángulo de OSTWALD. Recordar que a la derecha del la recta de aire mínimo o estequiométrico (£=1), sobrará el aire. Si al medir, hay CO no es por falta de aire, sino que solamente hay mala combustión, los valores de CO2% y O2%, caerán en la zona de £>1 (exceso de aire mayor a 1) y si medimos el CO%, este dará un valor, que crece desde la hipotenusa hacia el interior del triángulo, siendo el mayor valor de CO%, el punto de intersección en que el CO2% y el O2% son igual a cero (0%). Este valor de CO máximo, será de un valor mayor en aquellos combustibles con menor relación de H/C (menor cantidad de hidrógeno respecto al carbono).

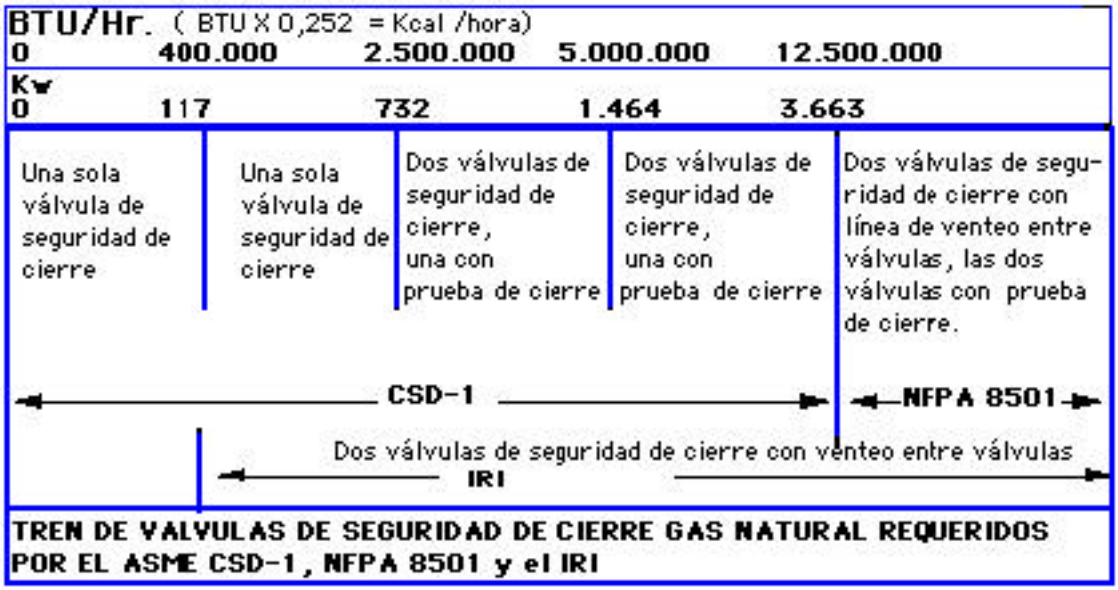
CONSIDERACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL GAS NATURAL AL QUEMADOR

Dada la importancia de la alimentación del gas natural al quemador (ya que las explosiones de hogar son muy peligrosas), proceso que obliga a usar **elementos reguladores de presión**, **elementos de cortes de seguridad del gas** (es muy peligroso cualquier pérdida de gas que entre al hogar de la caldera por el interior del quemador al estar este apagado o apagarse, así como que la reguladora de presión dé una presión mayor o menor al quemador), así como el **chequeo de que las válvulas funcionan correctamente** (tanto en forma de ver ópticamente si están cerradas o abiertas, así como el control eléctrico lo compruebe con un micro, con elementos automáticos de venteo en caso de fallos de asientos, como presóstatos de baja y alta presión de gas) y en el caso de que las **válvulas de seguridad de corte** (**por lo menos 2** en calderas de más de 630.000 Kcal/h (2.500.000 BTU/h o sea aprox. más de 1.050 Kg/h de vapor), además de la **válvula de regulación de alimentación del gas** al quemador (que irá en relación mecánica con la válvula o mariposa de regulación de aire de combustión, de manera de mantener la relación de aire/combustible).

En el siguiente cuadro hemos puesto la normas aconsejadas por el **NATIONAL BOARD** (Estados Unidos), que

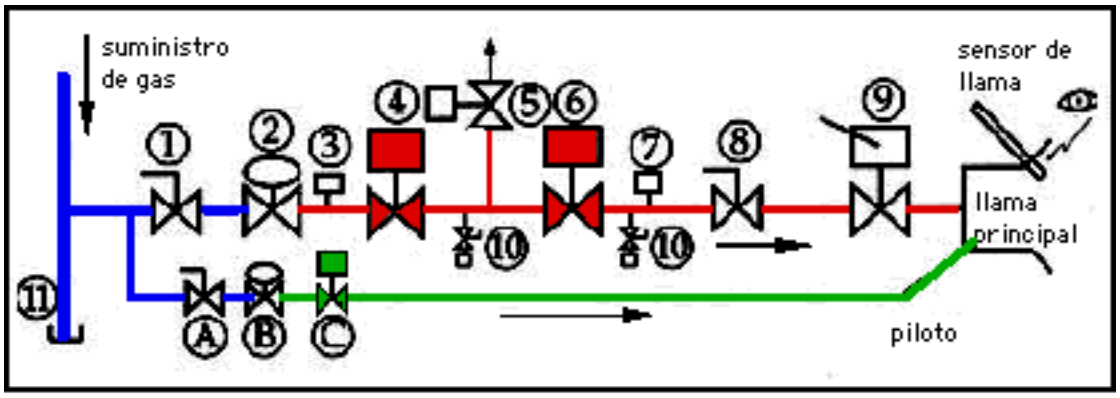
transcribe normas de **IRI** (Aseguradoras de Riesgos Industriales), **ASME** CSD-1 (**Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos**, Controles y Elementos de seguridad para calderas Automáticas 1992) y la **NFPA 8501** (Operación con un único quemador para caldera 1992).

Por supuesto que esto es para U.S.A., pero refleja correctamente el problema de seguridad en las calderas a gas natural.


BTU/Hr. (BTU X 0,252 = Kcal /hora)
0
400.000
2.500.000
5.000.000
12.500.000
Kw
0
117
732
1.464
3.663
Una sola válvula de seguridad de cierre
Una sola válvula de seguridad de cierre
Dos válvulas de seguridad de cierre, una con prueba de cierre
Dos válvulas de seguridad de cierre, una con prueba de cierre
Dos válvulas de seguridad de cierre con línea de venteo entre válvulas, las dos válvulas con prueba de cierre.
CSD-1
NFPA 8501
Dos válvulas de seguridad de cierre con venteo entre válvulas
IRI
TREN DE VALVULAS DE SEGURIDAD DE CIERRE GAS NATURAL REQUERIDOS POR EL ASME CSD-1, NFPA 8501 y el IRI

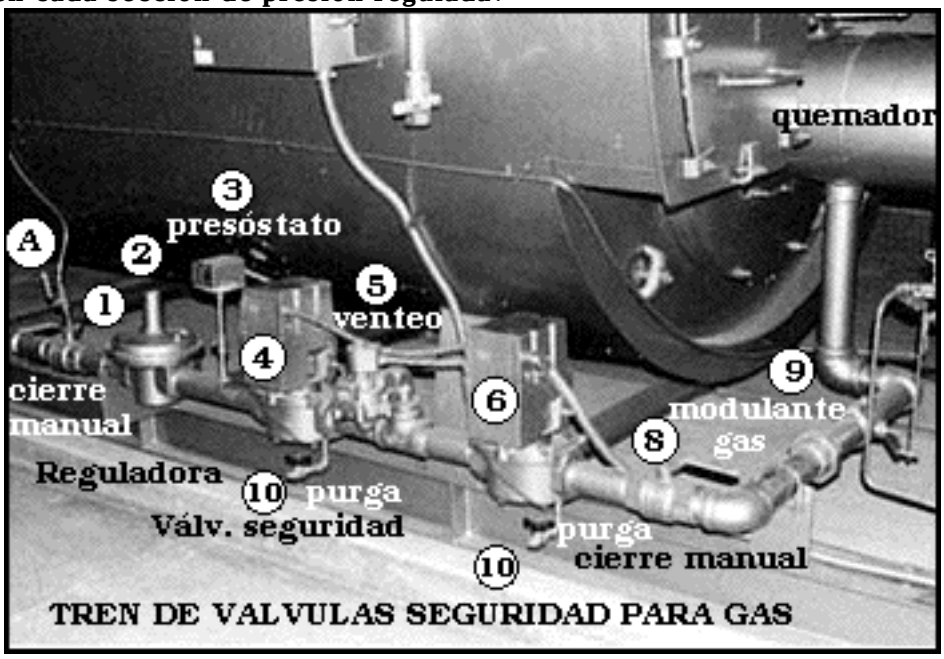
En **Uruguay** se han aplicado **normas Argentinas y Europeas**, que en este Manual dado su propósito (información general), **describiremos una instalación con las normas Americanas (NFPA 8501)**, de manera de tener una idea de un sistema de una capacidad media. Aunque, **también iremos interponiendo las normas Argentinas (ENERGAS) de aplicación en Uruguay**.

Veamos ahora un croquis de un tren de alimentación para gas natural (un ejemplo simple y de mínimo requerimiento por algunas normas, luego veremos otro ejemplo más concreto, aceptado por la **NFPA 8501** para calderas de más de **>12.500.000 BTU**, o sea una **caldera aprox. de más de 5.000 Kg/h de vapo**r), en el cual veremos **2 válvulas de corte de seguridad** (que cortan el gas inmediatamente, menos de 1 segundo, al quemador por fallas de baja presión de gas, alta presión del gas, permiten controlar el gas para que prenda y apague el quemador, apaga el quemador por bajo nivel de agua, o falta de llama piloto, o falta de llama principal, o falta de presión de aire de combustión, así como otros controles necesarios para la puesta en marcha y mantenimiento de la misma: posición mínima de llama para la puesta en marcha, válvulas cerradas, tensión eléctrica aceptable, etc.) y los **elementos necesarios** (como la que indica la **norma IRI** aconseja para calderas con quemadores de más de 100800 Kcal/h (400.000 BTU/h) equivalente aprox. a una caldera de más de 150 Kg/h de vapor.



CROQUIS DE TREN DE VALVULAS DE REGULACION Y SEGURIDAD: GAS NATURAL

El gas natural viene por **la cañería de suministro a más presión que la que usará el quemador**, generalmente vendrá "arrastrando" elementos que "ensucian" el gas (óxidos, partículas de la cañerías y sus accesorios, etc), así como puede ser agua de condensación, para ello podrá haber un filtro, pero lo importante es que haya un "pié" (drip leg, en inglés,) en el croquis el **Nº11**, que recolectará estas sustancias indeseables (que podrá limpiarse cada tanto). Luego el gas irá por dos caminos, la alimentación de la llama piloto (válvula manual **A**) y la alimentación del gas principal (válvula manual **Nº1**) del quemador (combustión principal). Esto puede variar en algunos casos. Ambos suministros tendrán **una válvula de corte manual** (la **A** para la piloto y la válvula **Nº1** para la llama principal), que permite el cierre seguro para poder trabajar en el mantenimiento y cierre seguro del sistema. Estas válvulas son muy importantes y **deben ser de 1/4 de vuelta** (generalmente válvulas esféricas adecuadas para gas). Podrá haber un manómetro que indica la presión de suministro y luego **un manómetro en cada sección de presión regulada**.



Por supuesto, que fuera de la sala de calderas, debe haber una válvula manual de corte del gas a las calderas (de la misma manera que en las calderas de combustible líquido, así como una forma de cortar la corriente eléctrica).

La alimentación del piloto de encendido (de un consumo muy bajo respecto al consumo principal) irá, además con su válvula manual de corte (**A**), una válvula reguladora de presión (**B**) y una válvula de cierre de seguridad (**C**) y luego irán los elementos de alimentación del propio quemador a la llama piloto (generalmente la válvula de seguridad (**B**) serán 2 válvulas de solenoide, como veremos en un ejemplo más adelante, con hasta un venteo entre válvulas si la potencia así lo indica).

Podemos dividir en tres la forma que opera el **piloto de encendido** de gas: "**Piloto continuo**" (el que permanece permanentemente prendido durante el servicio, aunque la llama principal no esté operando); "**Piloto interrumpido**" (el que se enciende automáticamente cada vez que sea necesario prender la llama principal, apagándose una vez de finalizado el tiempo de encendido) y "**Piloto intermitente**" (aquel que se enciende automáticamente cada vez que se hace necesario la puesta en marcha de la llama principal y permanece prendido mientras la llama principal lo está).

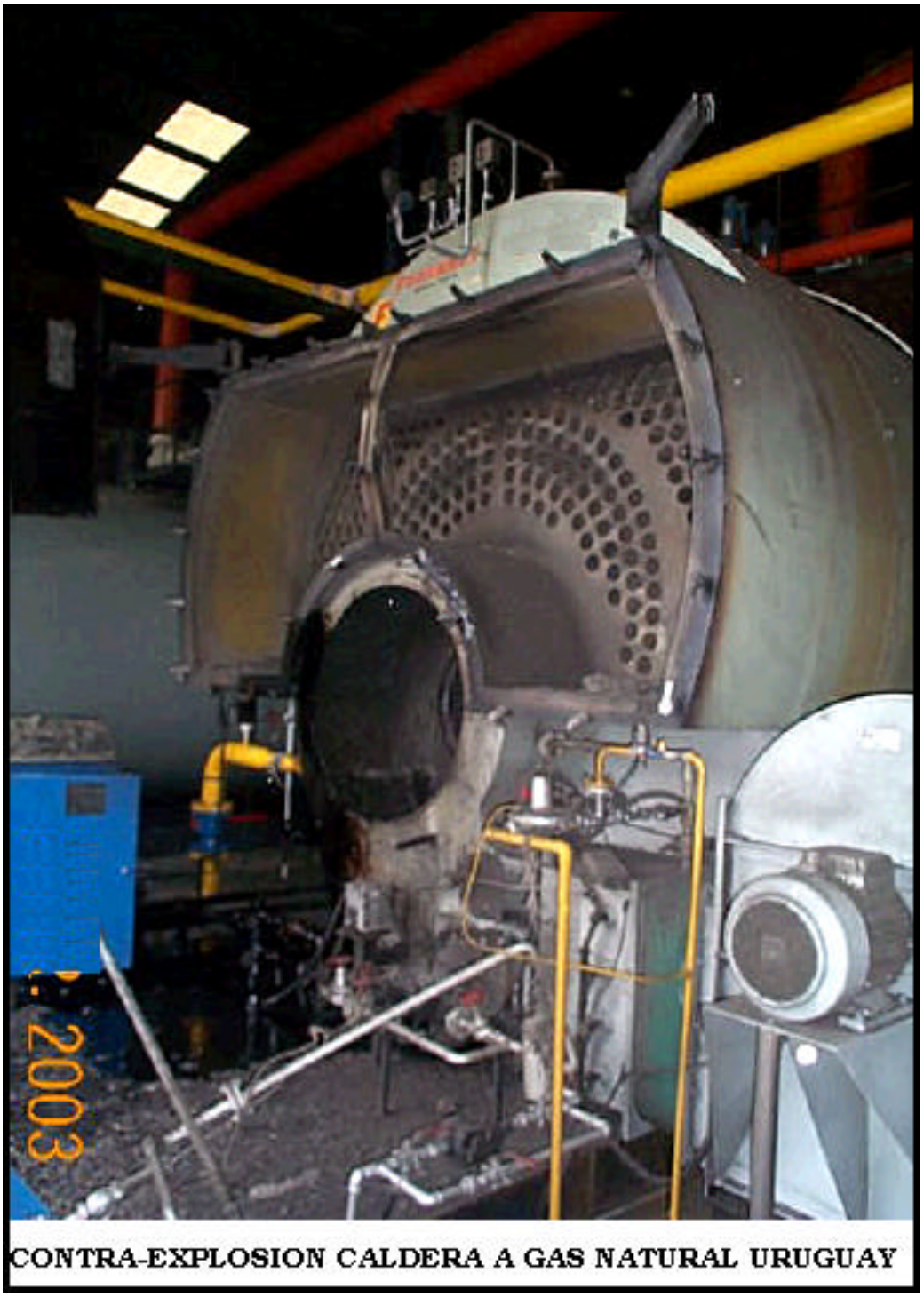
El piloto de gas es de un % bajo del consumo de gas principal (en general menos del 3%, aunque en calderas "pequeñas" puede haber quemadores de **encendido directo con la chispa eléctrica de la llama principal, que hasta unas 100,000 Kcal/h**, la llama principal puede prender con todo su valor nominal, teniendo 3 segundos de chispa de intento de encendido como máximo, pasando luego hasta unas 500,000 Kcal/h, **como máximo. a "arrancar" con un valor menor de la capacidad total, entre 30% hasta 300.000 Kcal/h** y **un 20% como máximo de llama al arrancar hasta un máximo de 500.000 Kcal/h de potencia**, valor por lo cual **no se permite un quemador con "arranque directo" con la chispa eléctrica, de manera de evitar una '"contraexplosión" por retardo de encendido**, **siendo el tiempo máximo de intento de encendido del "chispero eléctrico" no más de 3 segundos** (responde a normas Argentinas).

Esto mismo ocurre con las calderas con piloto de gas, que cuando más grande es su potencia, menor será el % de la llama principal en su arranque, llegando a valores de hasta un 20% de la capacidad total y la llama piloto no más del 3% de la capacidad de la llama principal (prendiendo al 100% de la llama principal hasta las 100.000 Kcal/h, un 35% dela llama principal hasta las 300.000 Kcal/h y de un 20% como máximo de la llama principal a partir de los 300.000 Kcal/h) y con **una apertura lenta de las válvulas de alimentación de gas de seguridad** (abrirán en 10 segundos como mínimo hasta las 10.000,000 Kcal/h y se abrirán más lentamente a partir de este valor, no menos de 20 segundos)**,** pero de **cierre rápido, menos de 1 segundo**, de manera que al prender se evita una "contraexplosión" por retardo de encendido de la llama principal. **Aquí el "piloto de gas", encendido por un "chispero eléctrico", tiene por lo general más tiempo de "seguridad de encendido, siendo de 15 segundos hasta las 300.000 Kcal/h y por encima de este valor, el tiempo baja a un máximo de 10 segundos, actuando el "chispero eléctrico" un tiempo menor, de manera que habrá un tiempo de "estabilización" de la llama del piloto de gas de unos 5 segundos, que permite controlar la llama piloto esté en condiciones , recién luego empezará la apertura lenta de las válvulas de seguridad de la llama principal** (no olvidando que el control de llama, tanto de la piloto como de la llama principal, cortará la combustión en las válvulas de seguridad que cerrarán a partir de las 300.000 Kcal/hora en menos de **1 segundo**). **A partir de que la capacidad de la llama piloto supere las 50.000 Kcal/h, se instalará un sistema de seguridad de doble válvulas automáticas con venteo entre ambas.**

Solamente se admite el "reencendido o el rearranque" del quemador si ha pasado 1 segundo de la falla de "extinción de llama", en calderas hasta 100.000 Kcal./h, **no permitiéndose el "reencendido o rearranque" en caldera automáticas de mayor potencia** (debiendo ir al "bloqueo" en menos de 4 segundos máximos, suma de todos los tiempos del control de llama y válvulas de seguridad). **Habiendo un "post-barrido" de unos 15 segundos o más, para "sacar" los gases que se han introducido y no han "prendido".**

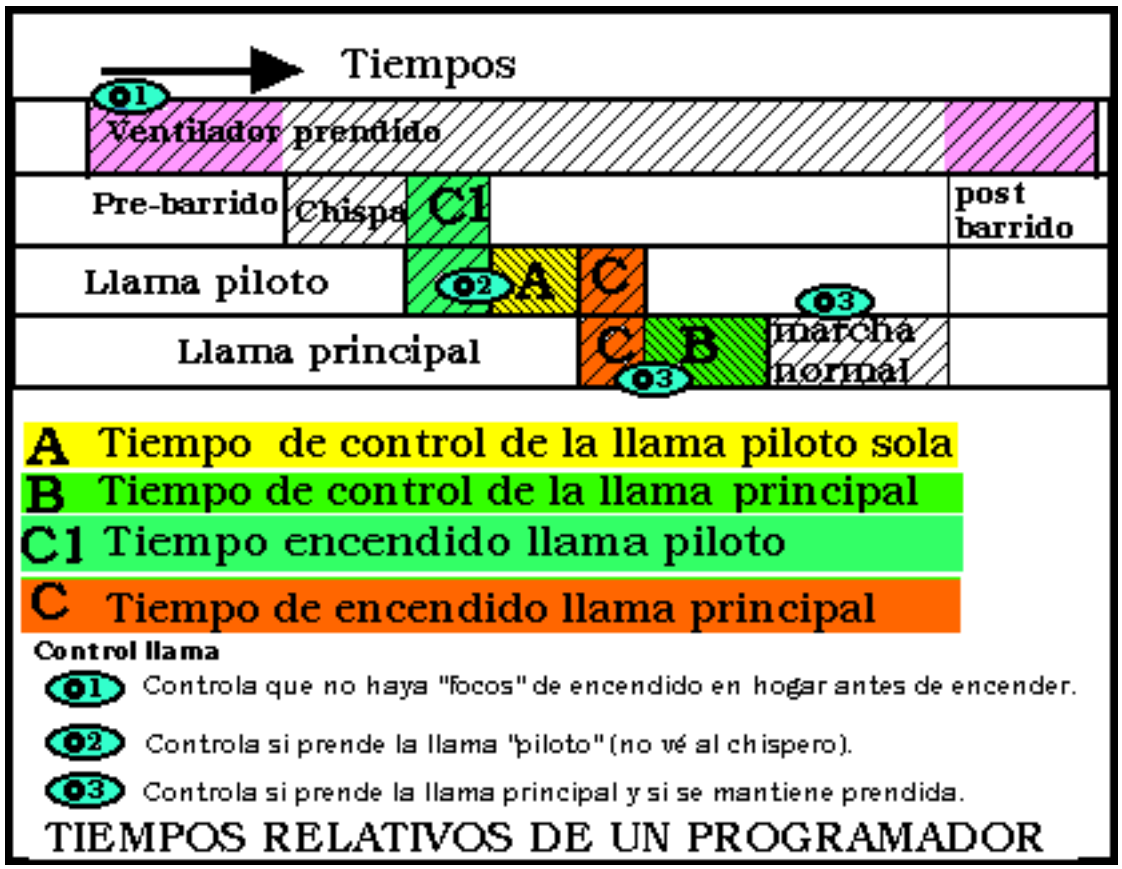
La alimentación principal de gas al quemador, llevará la **válvula de corte** manual (**Nº1**), luego irá la **reguladora de presión** (**Nº2**), vigilando la presión mínima del gas, irá un **presóstato de mínima presión Nº3** (apagando el quemador si esto ocurre, pero no podrá rearmarse por si solo, deberá ser rearmado por el operador, quien comprobará la presión de suministro y la regulada, antes de proceder a rearmar el presóstato). **Para el corte de seguridad, habrá dos válvulas** (la **Nº4** y la **Nº6**) de **cierre rápido en general** (y de apertura lenta, esta apertura lenta será mayor su tiempo de apertura a medida que aumenta la potencia de fuego, por ejemplo: hasta 10.000.000 Kcal/ no menos de 10 segundos de tiempo de apertura, siendo a partir de este valor no menos de 20 segundos, **esto es muy importante para establecer la llama en forma "suave" y no "brusca", lo que podría provocar una "contraexplosión"**), **el cierre de menos de 1 segundo** cuando la potencia lo requiera, teniendo en determinada potencia (ver tabla anterior) **un indicador del estado en que se encuentra la válvula** (abierta o cerrada). Para asegurarse que la primer válvula de seguridad de cierre **Nº 4** (en el caso que no cierre bien el asiento) **habrá una válvula de venteo** (**Nº 5**) que abrirá **cada vez que cierre la válvula** (**Nº 4**) (**venteando el gas que quede atrapado entre las dos válvulas de cierre de seguridad**, de manera que si la segunda válvula de cierre de seguridad (**Nº6**) pierde, al cerrar totalmente, lo que al no haber presión de gas entre las dos válvulas de cierre, el gas no pasará por la válvula (**Nº 6**) al quemador, sino a la atmósfera por el venteo (que podrá ser dispersado o quemado en un dispositivo especial en una zona segura). Luego de la **segunda válvula de seguridad de cierre irá un presóstato** (**Nº 7**) **que apagará el quemador si la presión del gas es mayor a la regulada** (teniendo también que ser rearmada manualmente, ya que una vez que apaga el quemador no permitirá que prenda si el operador no lo rearma manualmente). Luego entre el tren y el quemador irá una **válvula manual de corte** (**Nº 8**), que permite el cierre manual del gas al regulador de gas del quemador, (esto permite probar el tren de regulación y corte de seguridad, la llama piloto, sin que el quemador sea encendido o alimentado con gas). Luego irá una **válvula que regulará el gas natural al quemador** (**Nº 9**), según sea la necesidad de gas de acuerdo a la presión de la caldera de vapor o a la temperatura de la caldera de agua caliente. **Habrá purgas en partes bajas del tren** (**Nº 10**), **que permitirán extraer agua de condensación** (o probar si hay pérdidas de gas por medio de "burbujas" en un recipiente con agua, conectando un tubo flexible a la válvula y sumergiendo la punta del tubo bajo el agua en un frasco, de acuerdo a las burbujas por minuto se puede establecer un límite máximo de pérdida admisible)**. En calderas más pequeñas, se podrá disponer de válvulas "monoblock", con probadores de pérdida de las válvulas principales.**

El quemador a su vez tendrá los elementos de seguridad necesarios (vigilancia de llama piloto y la principal, cortando el gas al cerrar las válvulas de seguridad **Nº 4** y **Nº 6, menos de 4 segundos de la falta de llama. sumando todos los tiempos, pero las válvulas en sí mismo deben cerrar en menos de 1 segundo**), **tiempos de "barrido" adecuados para barrer los gases** adecuadamente antes de encender (por lo general no menos de **4 cambios de aire** en el interior del hogar y tubos o **90'** segundos, con el "**damper**" **abierto un 60%**) y **al apagar un post-barrido** (ventilando los gases de combustión al apagar, evitando su acumulación dentro del hogar, ya que estos gases tienen gases que pueden quedar sin quemar). **A esto hay que agregar otra serie de "pruebas" o "chequeos" que debe y puede hacer el programador**, **tanto en marcha, como parado y especialmente antes de proceder a "arrancar"** (como un micro que indica que una válvula de cierre de seguridad está cerrada, que el sistema está en la posición mínima de arranque, o se el motor modulante a llevado al mínimo el control de aire y la válvula de gas, general menos del 25% de la capacidad total, que la fotocélula no detecta llama o focos ígneos visibles en el interior del hogar, que hay presión de aire en el suministro de aire al quemador, etc.) **y luego todos los demás elementos de comando y seguridad de la propia caldera** (presóstato o termostato de comando, presóstato y termostato de límite máximo de seguridad, control de presencia de nivel de agua (generalmente doble), etc. como los sistemas de "enclavamiento" de las bombas de circulación en las calderas de agua caliente o de los "sensores" indicadores de circulación de aceite en las calderas de aceite caliente o sea aceites térmicos).



CONTRA-EXPLOSION CALDERA A GAS NATURAL URUGUAY

Como hemos visto, este sistema nos permite probar cada una de las partes en orden : el tren de la llama principal o de potencia, sin alimentar el quemador (cerrando la **Nº 8,** y sin la llama "piloto" cerrando la **A**), probar solamente el chispero de la llama piloto (y con ello el tiempo de barrido y los mecanismos de barrido y posición de mínimo y máximo aire, los micro de seguridad de "válvulas de seguridad cerradas", no presencia de focos de ignición antes de encender, etc.), luego probar el "piloto" de encendido a gas en su "tiempo de seguridad" (o sea que el chispero eléctrico ya "cortado", pero con la llama de gas piloto encendida (**A** en el diagrama inferior) , que si no la "ve" la fotocélula el quemador en los segundos de "seguridad" corta a la llama piloto y el quemador queda "bloqueado"), y luego habilitando la válvula **Nº8** de la alimentación principal de gas, se prueba todo el quemador (en que la llama principal tendrá su "tiempo de seguridad" (**B** en el diagrama inferior) en el cual ya la llama del piloto auxiliar de gas se ha apagado. Se puede probar antes de habilitar el quemador (de abrir la **Nº8**, cerrando la válvula **Nº1, que el quemador se bloquee por falta de presión de gas o porque la fotocélula especial para gas deja de ver la llama a cerrar el gas de entrada a la llama principal**). **Todas estas pruebas, dependerán de cada instalación, según las instrucciones del fabricante del quemador y la caldera, adecuada a las normas locales.**



En una palabra, el "programador", hará una serie de chequeos según sea su marca y las normas que cumplan, por lo general, antes de proceder a comenzar una ciclo de encendido, hace una serie de comprobaciones: **Una vez que el presóstato de presión de vapor** (o termostato de agua caliente) "**cierran**" **dando la orden de prender el quemador** (pero que **también deberán habilitar los controles de nivel,** ambos, el presóstato límite, y otros límites, como válvulas de seguridad de gas cerradas, **probadores estanqueidad de las válvulas de seguridad**, etc., se suceden: **1- que ventilador que suministra el aire esté encendido y haya**

presión de aire de combustión; **2-que no haya un foco "visible" para el detector de llama de un punto del interior del hogar** (ojo, debe ser visible por el sensor de llama, cualquiera sea éste, por lo cual puede haber focos en partes no visibles, que pueden ser causas de explosión, **debido a que la caldera está sucia de hollín por haber funcionado a F. Oíl o por mala combustión del propio gas natural**; **3-comprobar que las válvulas de suministro de gas estén cerradas**; **4-provocar un barrido del hogar y la zona de tubos de varios cambios de aire** (no menos de 4 cambios o 90 segundos con apertura total de suministro de aire), **previo comprobar que hay presión de aire en la cámara de aire del quemador** (sensor de presión de aire); **5-comprobar que el "barrido" se hizo con la apertura total del suministro de aire o una mínimo del 60%** (por una micro de máxima apertura); **6-antes de comenzar el ciclo de "encendido" de llama** (chispero, piloto auxiliar y llama principal) **comprueba si el aire y la válvula moduladora de combustible está al "mínimo de arranque"** (por lo general a menos del 25% de potencia total del quemador); **6-prende el chispero eléctrico unos segundos** (primero, según sea, el chispero solo, por lo general unos 3 segundos), luego se "cruza" el gas del piloto auxiliar para "prenderlo", **de todas maneras el sensor de llama no debe ver la chispa "eléctrica"** (u otra fuente de calor) **en ningún momento, para evitar errores**; ; **6- prende la llama "piloto auxiliar de gas"** (de garrafa o de cañería, que vigilada por sensor de llama, debe prender por lo general **entre 3 y 5 segundos máximos**, (tiempo **C 1**) o según normas, a veces hay preferencia por el gas de garrafa para el piloto por tener una llama "como más caliente" por ser más visible), **y apaga el chispero dejando solo el piloto de gas bajo control del detector de llama unos segundos** (ver si la llama piloto **es estable,** por lo general de **5 segundos máximo** (tiempo **A**), dependiendo de muchos factores). **7- luego prende la llama principal al "mínimo"** (controlando el mínimo presión y máxima presión de gas estén dentro de los parámetros de trabajo a partir del momento de habilitar la llama principal, las válvulas de seguridad se abren lentamente y la válvula de modulación de gas está al mínimo, que por lo general es menos del 25% de la capacidad total), **y la llama piloto se apaga a los pocos segundos**, **haciendo un "cruce" de tiempo de contacto con el gas de la llama principal** (de **3 a 5 segundos,** según sea, tiempo **C**) **de manera que la llama principal tiene un tiempo para establecerse no muy grande, que si no prende en el primer momento** (el sensor de llama en segundos, en menos de 1 segundo a un máximo de 3 segundos, si la llama no es detectada, corta las válvulas de seguridad del gas, que **cierran en menos de 1 segundo**), **el quemador se bloquea y hace un "post-barrido" para "barrer" los gases que no han prendido** (**el quemador queda "bloqueado" hasta que el operador vea la razón de la falla y luego recién "resetea" el programador, de manera que toma conocimiento de que hay una falla**). **Las fallas estarán indicadas en distintas formas según sea el programador** (en un display electrónico, o indicando en que momento se produjo el bloqueo si es "rotatorio", etc.). **Si el quemador prendió normalmente**, **hay un tiempo que el quemador espera que la llama se estabilice** (que por lo general pueden ser **3 a 5 segundos,** tiempo **B**), **luego de este período recién el quemador comienza a modular, tomando la carga de acuerdo a la orden del presóstato o termostato modulante.** Cuando la presión de la caldera lo haga apagar por el "corte de presión de vapor" (un presóstato) o su temperatura (un termostato), **el quemador se apaga** (previo a bajar al mínimo si es modulante) y **hace un "post-barrido" para "sacar" los gases que puedan haber quedado al apagarse el quemador** y la mezcla al ser "pobre" puede provocar una explosión de "retardo". En este caso el quemador queda a la "orden" para comenzar un nuevo ciclo de encendido normal.

Las válvulas de seguridad de corte de gas, por lo general son 2 válvulas (o una válvula doble en un mismo cuerpo, en calderas pequeñas)**, abren en forma "lenta"** (varios segundos) **y deben cerrar en forma "rápida"** (por lo general menos de 1 segundo). **Estas válvulas deben tener entre sí un "venteo" a la atmósfera o a un colector de venteo que lleve el gas a un lugar seguro** (que irá a la atmósfera si se puede o en donde se quema con una llama piloto) **cuando las mismas están cerradas, de manera que no se produzca una pérdida de gas al interior del hogar**. **Otros sistemas en vez de venteos, tienen un sistema de prueba de estanqueidad de las válvulas** (hay más de un sistema de prueba: uno que utilizando una pequeña bomba de gas, hace subir la presión unos milibares por encima de la presión normal entre la dos válvulas cerradas y por medio de un presóstato controla si la presión "baja" en un determinado tiempo; otro consiste en probar paso a paso las dos válvulas de seguridad, controlando que la presión no baje en determinado tiempo entre las válvulas, esto prueba la válvula más próxima al quemador, o al "vaciar" el gas entre las válvulas, controla que no suba la presión por pérdida de la primer válvula). En quemadores "pequeños" las válvulas pueden estar en un mismo "cuerpo", con el sistema de prueba o venteo incluido, etc.

Es muy importante que las válvulas de seguridad de la llama principal y de la llama piloto, no permitan bajo ningún concepto que entre gas al hogar si estas están cerradas, ya que esto puede ser una causa de explosión de hogar.

Luego que el quemador está correctamente prendido, se deberá ajustar la relación aire-combustible, en todo el rango de "carga" del quemador, cuidando además de no "pasar" la potencia máxima de combustión (ya que esto puede provocar "aflojamiento" de los tubos que son mandrilados o mandrilados y soldados a la placa más caliente).

No olvidar que la llama del gas natural no es muy visible para el ajuste visual de la r**elación aire a combustible**, es conveniente disponer de instrumentos que midan el **exceso de aire** (entre 10% a un 20%) y **la buena combustión**, midiendo los **gases no quemados** (o monóxido de carbono, CO, que debe ser menor a 400 ppm, aprox. 0,04% de CO, aunque un buen quemador debe dar un valor casi nulo de CO), que pueden existir por **falta de exceso de aire o por un problema de combustión** (mala mezcla del gas con el aire, hogar demasiado pequeño para lograr la combustión completa, llama muy fría, etc.). **Recordar que la relación de aire/combustible** (exceso aire respecto al gas) **cambia si cambia la presión de la reguladora de gas** (si la presión del gas sube, faltará aire y si la presión del gas es menor, habrá un exceso de aire).

El gas natural por lo general no dá muestras de "humo" en la chimenea, pero puede llegar a producir "hollín" (muy fino y muy aislante, inclusive este puede colaborar para una explosión de hogar).

5- el personal debe ser cuidadosamente instruido y entrenado.

Todo lo que sea necesario en tiempo e inversión, en la instrucción y entrenamiento (simulado y real), **es la mejor inversión cuando se usan quemadores de gas** (dado que todo parece fácil, por lo general, si no hay problemas, con el tiempo se producen los descuidos por falta de entrenamiento, lo que puede llevar a dolorosos episodios de accidentes).

PROBLEMAS DE LOS QUEMADORES DUALES (F. Oíl y Gas Natural)

En Uruguay, por lo general el suministro de gas natural está sujeto a "cortes" de suministro, especialmente cuando no se paga una tarifa especial.

Esto lleva a que las empresas deban tener **quemadores "duales"** (que funcionen a **F. Oíl**, u otros combustibles líquidos y a **gas natural**). El problema que se plantea es que cuando se utilizan combustibles como el **F. Oíl pesado y mediano**, las "toberas" u orificios de los anillos de gas (por donde se suministra el gas natural en el interior del hogar) **pueden quedar "tapados"** (sucios de escorias y de combustible que obstruyan los orificios de entrada de gas) **y además pueden quedar restos de F. Oíl, "escorias" u hollín** (en el interior del hogar) **, lo que hacen "peligrosa" la puesta en marcha con gas, tanto que sin comprobar que las entradas de gas están libres de "obstrucción"** (o que **puedan haber focos de ignición en el interior del hogar**, que puedan provocar el encendido a una mezcla explosiva del gas en un retardo de encendido, **sumadas a posibles "destilaciones" de restos de F. Oíl que desprenden gas combustible con el calor residual).**

Esta obstrucción de las toberas de entrada de gas al hogar, al estar "tapadas" o "semi-tapadas" no suministrarán el gas en forma adecuada en el momento del "arranque" (cuando el quemador está en posición de "arranque", **luego del barrido y vuelta al "aire mínimo de arranque" con la válvula modulante de gas al mínimo**), **y esto provoca que el gas no se enciende inmediatamente en forma estable, dado su baja presión, por su caudal pequeño de baja carga o "arranque"** (generalmente menos del 25% de la carga máxima y con las válvulas de seguridad abriendo lentamente)**, entrando en una zona que la llama piloto no lo pueda encender, pudiendo producir dentro del hogar de combustión una mezcla sin encender , una mezcla de "gas pobre"** (una cantidad de gas en baja relación respecto al aire), **que entre en ignición en forma violenta, provocando una "explosión de hogar". Esto se agrava si los "restos" F. Oíl están vaporizando gases combustibles**

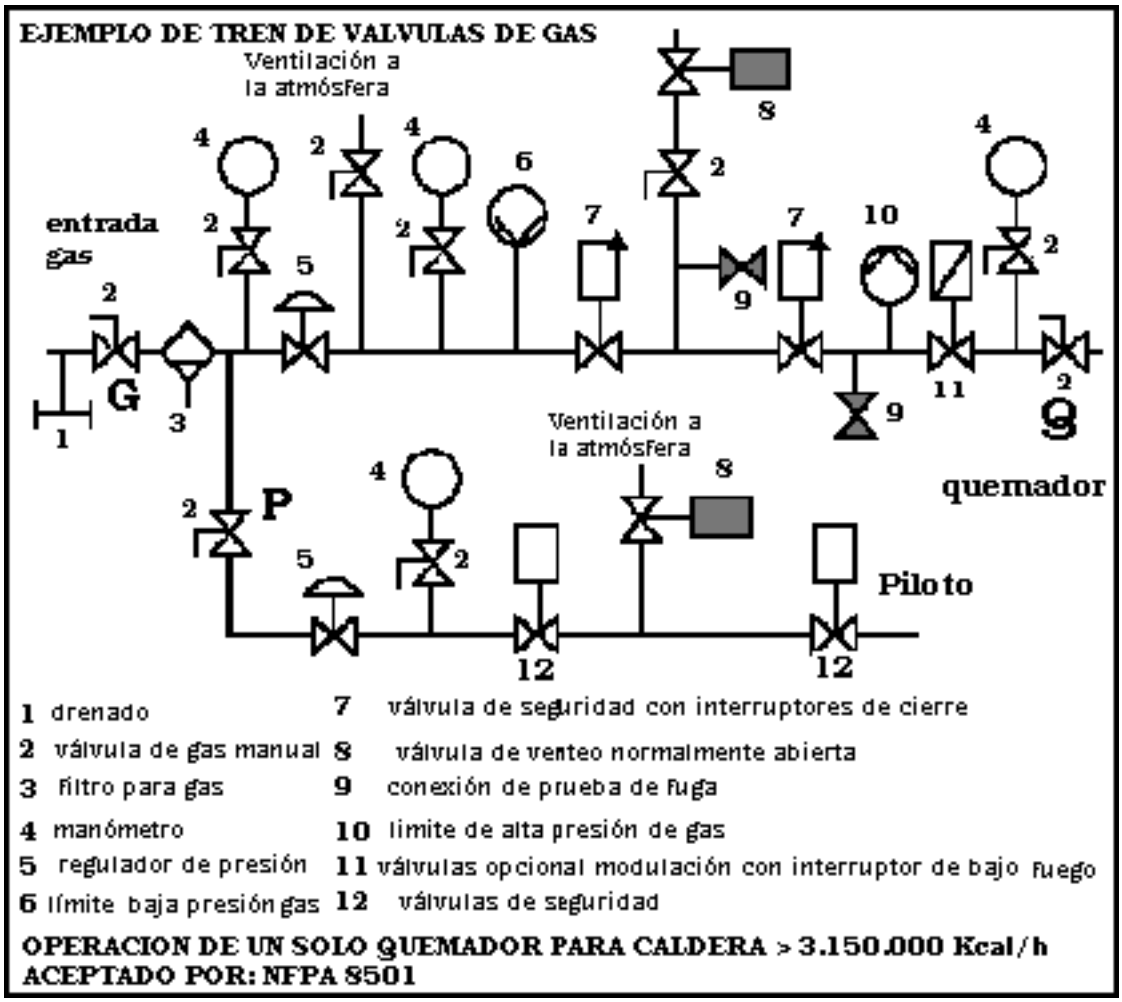
(destilando con la temperatura que queda al apagar el quemador, depósitos de combustible que ha ensuciado el hogar y los tubos)**, que unidos al gas natural que entra, aumenta la posibilidad de hacer una mezcla explosiva de un valor importante. Esta mezcla de gas que no ha prendido, no necesariamente prende por que el hogar se "llena" y lo prende la llama piloto, sino que puede prender con cualquier "foco" de calor que se encuentre en forma "latente" bajo el hollín y lo haya "reavivado" el barrido de aire al comenzar el ciclo del quemador, un foco de calor por encima de los 600ºC es suficiente para provocar la explosión** (esto lamentablemente ya ha ocurrido en el Uruguay, pagando el precio de le "inexperiencia" los foguistas, que no han recibido el entrenamiento por los "suministradores" de los quemadores o del gas, estas empresas debieron entrenar lo suficiente a los foguistas que operan este tipo de quemadores).

Creo que es muy importante, que las calderas que han quemado F. Oíl o deban operar el mismo alternativamente con el gas natural, deban ser mantenidas limpias de depósitos de hollín o escorias (inclusive, aconsejaría que después de "cepilladas" del hollín, antes de la conversión a gas, que las mismas sean totalmente "lavadas" con agua caliente levemente alcalinzada-soda-, ya que los restos de F. Oíl por lo general son ácidos y provocan corrosión en las condiciones que operan las calderas con gas: con la caldera fría hay condensaciones). **Hacer cada vez que se vuelva a quemar gas, después de un período de marcha con F.Oíl, un "gran" barrido** (con los tiros y el aire suministro bien abiertos) **de varios minutos para asegurarse que se quemen o vaporicen los restos de combustibles líquidos, o se "quemen" los focos en combustión "oculta", para luego pasar el quemador a la utilización de gas (revisando que las toberas de gas estén sin escorias o tapadas).**

Se supone, que la "llama piloto" debe establecerse con seguridad (luego de un barrido de 4 veces o más, de todo el volumen de hogar y los tubos de la caldera, o un barrido de 90 segundos con el ventilador a no menos del 60% de su apertura total y que no hay una fuente de ignición antes de entrar la llama piloto, habilitada por la posición de "mínimo aire" para el arranque a los efectos de poder encender la llama principal sin que se "sople"), **durante de hasta 10 segundos aprox. la llama piloto podrá estar prendida y debe ser detectada por la fotocélula** (especial para gas, generalmente de rayos UV, que no deberá detectar la chispa eléctrica que se establecerá unos segundos antes, estas fotocélulas en algunos casos deberán ser "autochequeables", pudiendo haber más de un sistema de detección de llama en combinación, como por ejemplo una varilla de "ionización"), **asegurándose en este período que tenemos la "llama piloto" correctamente "prendida" o sea "estabilizada"** (de unos 5 segundos, ya con la "chispero" apagado)**, luego al abrir lentamente las válvulas de suministro de gas principal** (estas son de apertura lenta y cierre rápido)**, la válvula modulante de suministro de gas estará ya abierta menos de un 25% del total de la máxima combustión** (depende de la capacidad total)**, la llama principal tendrá entre 3 a 5 segundos para "prender" con el piloto de gas, de lo contrario** (o sea que a partir de este período la llama piloto se debe apagar para asegurar que la fotocélula "vea" solamente la llama principal)**, de manera que si la fotocélula no ve la llama principal ya estabilizada y sola, debe inmediatamente cerrar las válvulas de gas de cierre seguro** en menos de 1 segundo las válvulas principales de cierre de seguridad del gas deben de cerrar, generalmente son dos válvulas, con una válvula en el "medio" que ventea automáticamente el gas entre las dos válvulas de cierre (en las calderas de cierto porte), o un sistema de prueba de pérdidas de las válvulas, de manera que sea imposible que se siga alimentando el gas al quemador por pérdida o falla de las válvulas de cierre, válvulas estas últimas especiales y que deben tener una señalización mecánica que indican la condición, de cerrada o abierta.

Recordar que las válvulas que suministran el gas al quemador abren "despacio" y cierran "rápido" (para evitar un suministro de gas en forma "abrupta" y el cierre "rápido" al detectarse una falla : falta de llama, falta de aire de combustión, etc.).

Dado la peligrosidad de esta maniobra de pasar de F. Oíl a gas natural, es conveniente revisar que las toberas de suministro de gas están en condiciones (destapadas, o si estuvieran protegidas mientras marchó con F. Oíl, chequeadas una por una, ya que basta que las más próximas a la "llama piloto" puedan estar tapadas y con ello dificultar el encendido inmediato de la llama principal).


EJEMPLO DE TREN DE VALVULAS DE GAS
Ventilación a la atmósfera
entrada gas
G
P
Q
quemador
Piloto
Ventilación a la atmósfera
1 drenado
2 válvula de gas manual
3 filtro para gas
4 manómetro
5 regulador de presión
6 límite baja presión gas
7 válvula de seguridad con interruptores de cierre
8 válvula de venteo normalmente abierta
9 conexión de prueba de fuga
10 límite de alta presión de gas
11 válvulas opcional modulación con interruptor de bajo fuego
12 válvulas de seguridad
OPERACION DE UN SOLO QUEMADOR PARA CALDERA > 3.150.000 Kcal/h
ACEPTADO POR: NFPA 8501

Es aconsejable hacer todo el chequeo del quemador (o lo que aconseje el fabricante de la caldera o quemador o la autoridad habilitadora):

El siguiente es un ejemplo de procedimiento de prueba, no necesariamente el indicado para un quemador en especial, por lo que es aconsejable seguir las instrucciones del vendedor de la caldera o del quemador.

1- primero sin suministrar el gas, cerrando la válvula de entrada de gas al tren de seguridad (Nº2 de entrada **G**) , **el sistema debe detectar que no hay presión de gas y bloqueará por baja presión de gas. Luego abriendo dicha válvula y cerrando las otras válvulas manuales Nº2** (válvulas manuales de gas a la entrada del quemador **Q**, o sea la más próxima al quemador de la caldera y la **P** o sea la que suministra gas al piloto, indicadas **en el croquis anterior**), tanto de la "llama piloto", como de la llama principal, **esto permitirá simular que el quemador puede prender por que hay presión de gas, pero no prenderá por estar cerradas las entradas de gas** (Nº2, **Q** y **P**) **y nos permitirá verificar los tiempos y forma de "barrido de hogar" con aire, sin prender el quemador** (debiendo comprobar que hay 4 cambios de volumen de la cámara de combustión y de humos, o 90 segundos con el suministro de aire abierto no menos del 60%), **verificar que el quemador baja a la posición de "aire mínimo para el arranque", verificar que el chispero produzca la chispa con la suficiente potencia, observar luego del tiempo de establecer la "llama piloto" si la operación se cancela por "falta de llama". En este período de prueba se pueden establecer dos pruebas más: desconectando el presóstato de aire** (el que habilita al sistema detectando la presión de aire de combustión), **el quemador se bloquea** (puede que el ventilador no se apague, pero se corta el ciclo o no comienza el barrido o se suspende el ciclo si se desconecta la

conexión al ducto de aire, bloqueando el quemador, que deberá ser "repuesto" por el foguista) **y probar si hay bloqueo por presencia de llama** (en este caso sacar la fotocélula y exponerla a la luz antes que comience el encendido del "chispero"), **al "ver luz" la fotocélula se bloquea el quemador.**

2-Probar nuevamente con solo la "llama piloto" habilitada (abriendo para ello la válvula Nº2 **P del piloto**) luego de recorrer todos los pasos anteriores, **ver que se establezca la "llama piloto" durante unos 10 segundos** (depende del quemador) **y que la "vea" la fotocélula, permitiendo que se abran las válvulas principales de seguridad de gas, las Nº7** (que funcionarán, pero las **tendremos inhabilitadas al cerrar la entrada de gas manual al quemador, la válvula Nº2 Q** o sea que el gas no pasará al quemador). **Se deberá controlar que entre 3 y 5 segundos máximos se prenda la llama del piloto de gas** (tiempo en que se cruza el chispero para prender el piloto de gas) **si el piloto de gas no prende, el detector de llama "abortará" la operación y bloqueará el quemador. Si prende la llama piloto de gas, el programador dejará funcionar sola unos 5 segundos al piloto de gas, ya sin el chispero eléctrico, para observar la estabilización la llama piloto de gas** (ver que está prendida correctamente) **pero si se apaga la llama piloto en este tiempo de estabilización, al "perder" la "visión" la fotocélula "aborta" la operación por "falta de llama"** (se apagó la "llama piloto" y no hay llama principal, las válvulas de cierre rápido, Nº7, deben de cerrar en menos de 1 segundo, el quemador va a "bloqueo" y el foguista debe "reponer" el sistema)**.**

3-Recién en este momento se habilitaría la válvula manual principal de gas al quemador (Nº2 **G**)**, de manera que se complete totalmente la operación de encendido.**

4-Una prueba adicional es cerrar con el quemador prendido la válvula manual Nº2 Q y ver que el quemador se bloquee por falta de llama en menos de 4 segundos (la suma de tiempos entre que el detector de llama nota la falta de llama, que debe ser de menos de 3 segundos y en la actualidad en menos de 1 segundo, y el cierre de las válvulas de seguridad que debe ser menos de 1 segundo)**.**

PÓNGASE DE COSTADO EN TODAS LAS OPERACIONES, DE MANERA QUE SI HAY UNA EXPLOSIÓN DE HOGAR, QUE PUEDE "ARRANCAR" EL QUEMADOR O ABRIR (o "arrancar") LAS "TAPAS" DE LIMPIEZA DE LA CAJA DE HUMOS, PROVOCANDO DAÑOS POR EL IMPACTO A LAS PERSONAS Y A LOS MATERIALES.

En este caso, evitar que estos elementos puedan impactar sobre las cañerías de gas, dado que esto provocaría un incendio de muy graves consecuencias, aunque se supone que hay una protección por exceso de caudal de gas o pérdida de presión, que deberá cortar el gas, pero en algunos casos tenemos una cantidad de gas en la cañería entre el tren de válvulas y las reguladoras de presión y bloqueo por alta y baja presión de la línea de suministro, que por lo general están alejadas, fuera de la sala de calderas como corresponde.

Se debe de tratar que las válvulas de seguridad, regulación y control del gas (correspondientes al quemador)**, estén los más próximo al quemador** (asegura que el quemador no tenga que esperar un tiempo de "barrido" del aire de la cañería, que retrasa el encendido y aumenta el riesgo de un mal encendido) **y protegidas de un "impacto" de explosión de hogar** (puestas lateralmente a la caldera y no de frente a la misma)**.**

Resumen (hacer lo que diga el suministrador del quemador y/o caldera a gas): Revisar (limpiar) **toberas de suministro de gas. Mantener la caldera libre de hollín y escorias de la operación con combustibles líquidos** (y con el propio gas natural)**. Al pasarse a gas, hacer un prolongado "barrido" de los "restos de F. Oíl, efectuar las pruebas "paso a paso" de cada etapa del quemador** (y como esto no es "un seguro de vida", no exponerse en la zona crítica que pueda afectar una explosión de hogar)**.**

Las maniobras con "apuro" son las más peligrosas, tómese su tiempo!!!!!

ADAPTACIONES DE CALDERAS PARA QUEMAR GAS NATURAL.

Uno de los problemas, al adaptar una caldera a gas natural, **es la temperatura del metal** (mandrilado y/o soldado) **de los tubos del primer pase de tubos a la placa en contacto con la cámara del hogar, que en general llamamos la "placa más caliente"** (sea una caldera de fondo seco, las más problemáticas o de fondo húmedo, una caja, o de fondo semi-húmedo,

con "capilla" trasera de tubos). **El metal de la placa y la "punta de los tubos" fundamentalmente no deberían pasar de los 425°C** (800ºF), **es decir que en el "tubo del hogar" en las caldera humo-tubulares, la llama debe "disipar" su calor de tal manera que llegue a una temperatura que no caliente el metal más allá de los 425°C** (con calderas con incrustaciones, y las hay, esto puede ser un problema serio, ya que el metal no se refrigera correctamente), **de lo contrario que se corren riesgos de "quemar" el metal** (fisurar la "punta de los tubos", aflojar los mandrilados o fisurar los tubos y la placa). **Esto aún más se agrava si el trabajo del mandrilado y soldado de los tubos a la placa están "mal hechos", es decir, que parte metálicas que se proyectan hacia los gases** (el largo de los tubos fuera de la placa es mayor a la permitida, en general no debe pasar de 3 mm. si son mandrilados y soldados, pero si solo son mandrilados conviene que sean "pestañados", o sea "recalcada" la punta del tubo con una terminación "redondeada", trabajo que se hacía a mano o con un martillo neumático con una punta con la forma de la terminación de la "pestaña") **o tienen una mala "terminación de acabado"** (filos o fisuras o "gorrones" de soldadura).

Es evidente que la temperatura de los gases, al final de hogar, ya han entregado buena parte del calor. En la **calderas de combustibles líquidos** (como el F. Oíl), dado la alta "luminosidad" de la llama y lo corta de la misma, se transfiere por lo general en el entorno del **40%** del calor, **pero con gas natural, una llama más difusa, poco luminosa, se transfiere menos calor** (en el entorno del **30%**).

Esto significa que las calderas al quemar gas natural, para la misma "potencia" de producción de vapor, tendrán un valor en la temperatura de chimenea, una poco mayor de cuando queman un combustible líquido como el F. Oíl (para el misma "carga" y **exceso de aire** o sea la misma relación aire/combustible).

Por supuesto que **el hogar deberá tener una dimensión adecuada, en diámetro y en el largo**, así como la conexión del tubo del hogar al primer pase tubos (caja, capilla, fondo seco), **para un máximo de poder de combustión.**

Hay una "norma" inglesa, que establece una "formula" de cálculo teórico, para fijar una temperatura aproximada de los gases a la entrada de los tubos del primer pase de tubos (salida del hogar y la cámara o caja de humos trasera entre el hogar y primer paso de tubos), esta fórmula de cálculo responde a la **potencia de combustión máxima dividida la superficie del hogar más la del fondo correspondiente** (húmedo, con capilla o nada como el el "fondo seco"), **a esta relación se le eleva a una potencia fracción que se le multiplica por un factor, si la temperatura de los gases dá mayor de 800°C, se aconseja medir la temperatura del metal de los tubos y la placa trasera** (que no pase de 425ºC, si es mayor se deben poner protecciones cerámicas o bajar la combustión máxima), **si el valor es mayor a 1.200 °C, se debe bajar la potencia máxima de combustión por debajo de 1.200°C** (la norma inglesa es la **BS 2790**).

En una palabra, cuando la caldera pase a quemar gas natural, el máximo de combustión debe ser monitoreado para no pasar el metal por encima de los 425°C en esa zona (las calderas mandriladas y soldadas, pueden llevarse a una temperatura de gases de

unos 1200ºC, pero las calderas solo mandriladas son más sensibles, por lo que dicha temperatura debería ser menor o hay que poner una protección de cerámica en cada tubo).

Una forma de controlar esta máxima combustión es "monitorear" que la temperatura de chimenea (con la caldera limpia de hollín e incrustaciones) **tenga un valor de la temperatura de chimenea a la suministrada por el fabricante en el diseño** (ya que la temperatura del metal de la placa-tubo, no es fácil de medir).

De lo contrario habrá que poner protecciones de cerámicas (canutos o boquillas) **que protegerán a esta zona tan sensible del exceso de la temperatura.**

Este efecto, costó muchos "dolores de cabeza", en los países que fueron reconvirtiendo sus calderas de combustibles sólidos y líquidos (ya que muchas calderas "aflojaban" el mandrilado o fisuraban la placa "más caliente"), **al pasar a la quema del gas natural** que apareció en el mercado después que estas calderas fueran diseñadas para los combustible clásicos (las nuevas calderas, ya serán diseñadas especialmente para gas y combustibles líquidos de respaldo).

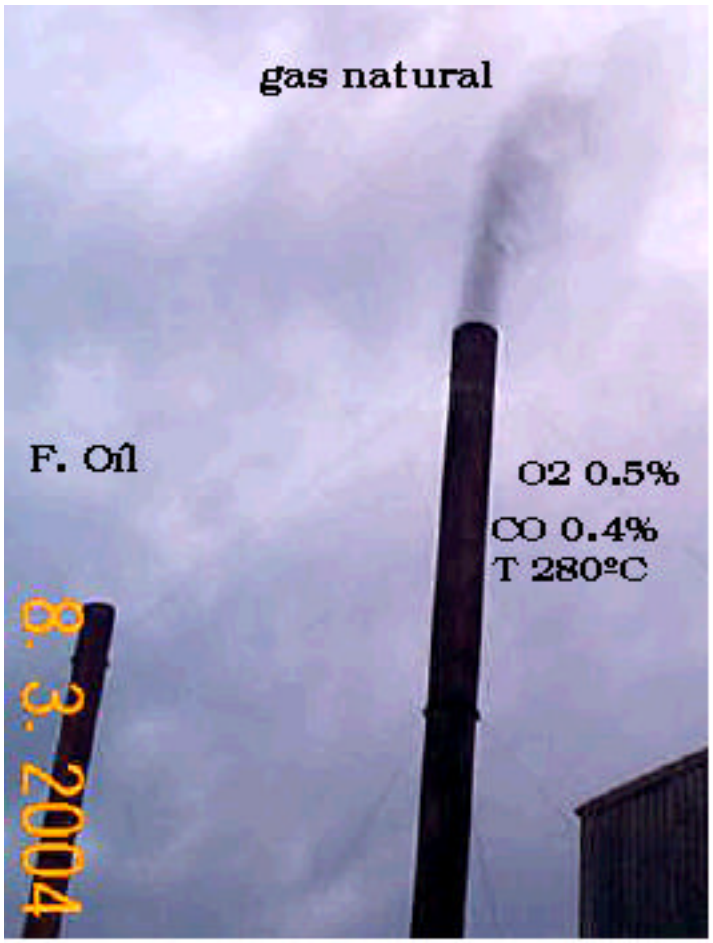
Un aumento de la temperatura en chimenea puede decir varias cosas:
1-Un exceso de combustión, hay mucho riesgo (se corre peligro con los mandrilados).

2-Caldera sucia de hollín, hay riesgo para este problema (y pérdida de dinero por falta eficiencia) **pero puede haber riesgos en otros, como la posibilidad de aumentar el riesgo de una explosión de hogar. Aunque parezca extraño, si la caldera funciona con falta de aire o mala mezcla del gas y el aire en estas condiciones o llama muy fría, el gas natural puede llegar a producir hollín que aisla la caldera de la misma forma que el hollín que producen los combustibles líquidos** (es más aislante que el hollín de los combustibles líquidos por la baja densidad del hollín, un polvo casi "negro humo")**, aunque en la chimenea no veremos "humo" (los humos por lo general no son hollín, sino "pequeñas gotitas", como "neblina" de elementos orgánicos,** que se manifiestan en los combustibles líquidos y algunos sólidos, en el gas natural u otros gases puede aparecer como un "humo de hollín", que se ve más como una "sombra" al trasluz)**, salvo que los gases expulsados serán algo más opacos al "trasluz". El riesgo puede ser, una contra-explosión, dado que los gases están ricos de "gases no quemados" que se suman a una posible "mezcla" con el polvo de hollín** (un hollín sumamente liviano, como un "negro de humo", pero aglomerado en forma orgánica), **y esta mezcla puede entran en ignición en un punto cualquiera de la caldera** (inclusive en las cajas de humo o chimenea, por efecto de una chispa o foco de combustión en el propio "hollín" que se activa con el "barrido" de la puesta en marcha).

3-Caldera incrustada, hay riesgo (peligro de quemar el metal por falta de enfriamiento).

4-Un exceso de aire muy elevado, hay riesgo de exceso de temperatura en los mandrilados (y pérdida de dinero, calentamos aire que no necesitamos).

5-En algunos casos, corrimiento de la combustión (una falta de aire debería bajar la temperatura en algunos casos, pero en otros puede que sea la causa del corrimiento de la llama hacía la parte "trasera" del tubo de hogar, o una mala mezcla aire/combustible, corriendo las temperaturas a un valor más alto en la zona de la placa, a la entrada del primer pase de tubos).



En resumen: El comportamiento deberá ser observado permanentemente, como cualquier otro combustible, **pero hay una tendencia pensar que una vez que se quema gas natural, no hay que limpiar más la caldera de hollín u observar la llama** (ya que no hay humos observables o colores de llama notorios)**, porque con gas "no pasa nada". Esto no es así, con gas natural debemos estar muy atentos, justamente por esa falta de "señales" de que las cosas andan mal. Basta que la presión del gas sufra un cambio, o que cualquier elemento del quemador sufra una alteración** (como el ensuciamiento de la "turbina" del ventilador, que debe ser limpiada para que no pierda rendimiento, u otras, como el ensuciamiento de los controles del aire o sea las "persianas" o "silenciadores" sucios, etc.), **pueden provocar una falta de aire, que se permitirá la formación de "hollín"** (un ensuciamiento de las superficies de transferencias que se notará en **un aumento de la temperatura de chimenea o en el mayor consumo del gas**, pero no formará humos, salvo un oscurecimiento en los gases de chimenea si llega a expulsar dicho "hollín"). **La llama cambiará de aspecto, quedando más visible** (oscura de color más rojizo).

La presión de suministro del gas natural deberá ser lo más estable posible, de lo contrario, corremos el riesgo de que la relación aire/combustible cambie continuamente al cambiar la presión (siendo hasta probable que falte aire al aumentar la presión de gas y el quemador tienda a cerrar la modulación para la misma potencia, lo que provoca un cierre de ambas válvulas, la de gas y la de aire, pero como entra la misma cantidad de gas por haber más presión, entrará menos aire, lo cual hará que la combustión entre en una zona de falta de aire: formación de CO, gases no quemados e inclusive hollín).

En una palabra: no debemos bajar la "guardia" cuando quemamos cualquier combustible, pero especialmente en gases, que no son muy demostrativos de sus alteraciones de combustión (llama poco visibles, prácticamente sin formación de humos, etc.), esto también ocurre con los combustibles celulósicos (leña, cáscaras, etc.).